



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA MECÁNICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PRÓTESIS MECÁNICA  
PARA AMPUTACIÓN TRANSMETACARPAL CONTROLADA  
POR MUÑÓN FLEXIBLE Y CABLES PARA UNA PERSONA  
ADULTA**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**AUTORES:**

MARCO VINICIO ASAN CUSHPA

DAVID GERARDO QUEVEDO LÓPEZ

Riobamba – Ecuador

2023



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA MECÁNICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PRÓTESIS MECÁNICA  
PARA AMPUTACIÓN TRANSMETACARPAL CONTROLADA  
POR MUÑÓN FLEXIBLE Y CABLES PARA UNA PERSONA  
ADULTA**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**AUTORES: MARCO VINICIO ASAN CUSHPA**

**DAVID GERARDO QUEVEDO LÓPEZ**

**DIRECTOR: Ing. SÓCRATES MIGUEL AQUINO ARROBA**

Riobamba – Ecuador

2023

**©2023, Marco Vinicio Asan Cushpa; David Gerardo Quevedo López**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Marco Vinicio Asan Cushpa y David Gerardo Quevedo López, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 12 de junio de 2023.



**Marco Vinicio Asan Cushpa**  
**060458316-1**



**David Gerardo Quevedo López**  
**060501765-6**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA MECÁNICA**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PRÓTESIS MECÁNICA PARA AMPUTACIÓN TRANSMETACARPAL PARA UNA PERSONA ADULTA CONTROLADA POR MUÑÓN FLEXIBLE Y CABLES**, realizado por: **MARCO VINICIO ASAN CUSHPA** y **DAVID GERARDO QUEVEDO LÓPEZ**, ha sido minuciosamente revisado por los miembros del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

|   | <b>FIRMA</b>   | <b>FECHA</b> |
|---|--|--------------|
| Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez<br><b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>                          |   | 2023-06-12   |
| Ing. Sócrates Miguel Aquino Arroba<br><b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b> |  | 2023-06-12   |
| Ing. Edwin Rodolfo Pozo Safla<br><b>ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>        |  | 2023-06-12   |

## **DEDICATORIA**

En primer lugar, a Dios por brindarme la salud, la fortaleza para seguir adelante y permitir que las personas más importantes me hayan acompañado durante este transcurso de mi formación profesional. A mi madre Norma Cushpa y a mi padre German Asan, quienes con su apoyo incondicional que a pesar de las diferentes adversidades supimos salir adelante y gracias a eso pudieron guiarme, aconsejarme de la mejor manera. A mi tía Lourdes Cushpa, quien estuvo siempre pendiente de mí en todo momento. A mi hermana Lizeth de quien espero ser su admiración y dedicación para continuar con los estudios y formarse como una profesional. A todos mis familiares que me brindaron su apoyo de una u otra forma. A Raúl P. quien considero como hermano y espero algún momento ser su motivación. A amigos con quienes he compartido momentos de alegrías y tristezas de experiencias inolvidables. A todos los docentes y al grupo de investigación GIEBI, con ustedes se logró la culminación del trabajo de titulación.

Marco

Este proyecto de titulación está dedicado a Dios por mantenerme con salud y vida. A mi padre “Juan Quevedo” y a mi madre “Flor López” quien con sus sabios consejos contribuyeron en este largo camino. También quiero dedicar este trabajo a mis tías quienes con su apoyo incondicional me motivaron a continuar y por último dedico esta investigación al GIEBI quienes fueron una piedra angular en mi formación académica. Agradezco a todos por lo que han hecho por mí, este logro no habría sido posible sin ustedes.

David

## **AGRACEDIMIENTO**

Agradezco a Dios por brindarme la oportunidad de pertenecer a esta prestigiosa institución, donde adquirí conocimientos de cada uno de los docentes que han sido participe directa o indirectamente durante mi formación académica. A mis padres y a toda mi familia quienes me inculcaron valores que guiaron mis pasos y por la confianza depositada en mi persona. Al grupo de investigación GIEBI por la asesoría del Ing. Alan Tierra y de los instrumentos proporcionados. A los ingenieros Miguel Aquino y Edwin Pozo por las tutorías, colaboraciones que nos permitió llevar a cabo este trabajo de integración curricular.

Marco

Agradezco a Dios por haberme mantenido con salud y bienestar en la lucha por alcanzar esta meta. A mis padres les quiero expresar mi más profundo agradecimiento, quienes, con su apoyo incondicional en mi camino, han formado un hombre de bien y con valores inquebrantables. Sus palabras de aliento y sus sabios consejos han sido una guía invaluable en este largo y sacrificado camino como es la Ingeniería Mecánica. También agradezco al resto de mi familia quienes de corazón contribuyeron con un granito de arena para la culminación de este proyecto de vida. Por último, quiero agradecer a todas las personas que han sido parte de mi formación académica y me han apoyado de forma directa e indirecta en la elaboración de este proyecto de investigación “GIEBI, docentes, amigos” en el cual sin su voz de aliento e impulso este trabajo nunca habría sido posible. Gracias a todos por su contribución, paciencia y apoyo en este viaje.

David

## ÍNDICE DE CONTENIDO

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| ÍNDICE DE CONTENIDO .....     | vii   |
| ÍNDICE DE TABLAS .....        | xii   |
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES ..... | xiii  |
| ÍNDICE DE ANEXOS .....        | xvii  |
| RESUMEN .....                 | xviii |
| SUMMARY .....                 | xix   |
| INTRODUCCIÓN .....            | 1     |

### CAPÍTULO I

|  |          |
|--|----------|
| <b>1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA .....</b>   | <b>2</b> |
| 1.1. Antecedentes .....                    | 2        |
| 1.2. Delimitación .....                    | 2        |
| 1.2.1. <i>Delimitación espacial</i> .....  | 2        |
| 1.2.2. <i>Delimitación sectorial</i> ..... | 3        |
| 1.3. Formulación del problema .....        | 3        |
| 1.4. Justificación .....                   | 3        |
| 1.5. Alcance .....                         | 4        |
| 1.6. Objetivos .....                       | 4        |
| 1.6.1. <i>Objetivo general</i> .....       | 4        |
| 1.6.2. <i>Objetivos específicos</i> .....  | 4        |

### CAPÍTULO II

|  |          |
|--|----------|
| <b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>                                | <b>5</b> |
| 2.2. Anatomía y fisiología básica de la mano .....           | 5        |
| 2.2.1. <i>Movimientos de los dedos</i> .....                 | 6        |
| 2.2.1.1. <i>Generalización de los tipos de agarre</i> .....  | 7        |
| 2.2.2. <i>Antropometría de la mano</i> .....                 | 7        |
| 2.2.2.1. <i>Longitud de la mano</i> .....                    | 7        |
| 2.2.2.2. <i>Longitud de la palma de la mano</i> .....        | 8        |
| 2.2.2.3. <i>Altura máxima de la palma de la mano</i> .....   | 8        |
| 2.2.2.4. <i>Altura máxima de la mano con el pulgar</i> ..... | 8        |



|          |  |    |
|----------|--|----|
| 2.2.2.5. | <i>Espesor de la mano</i> .....                                    | 8  |
| 2.2.3.   | <b>Amputaciones</b> .....  | 8  |
| 2.2.3.1. | <i>Transfalangeal</i> .....  | 9  |
| 2.2.3.2. | <i>Transmetacarpal</i> .....                                       | 9  |
| 2.2.3.3. | <i>Trascarpal</i> .....  | 9  |
| 2.2.3.4. | <i>Desarticulación de la muñeca</i> .....                          | 9  |
| 2.2.3.5. | <i>Amputación transradial</i> .....                                | 9  |
| 2.2.3.6. | <i>Desarticulación del codo</i> .....                              | 10 |
| 2.2.3.7. | <i>Amputación transhumeral</i> .....                               | 10 |
| 2.2.3.8. | <i>Desarticulación del hombro</i> .....                            | 10 |
| 2.3.     | <b>Prótesis</b> .....  | 10 |
| 2.3.1.   | <b>Tipos de prótesis</b> .....                                     | 10 |
| 2.3.1.1. | <i>Prótesis pasivas</i> .....                                      | 10 |
| 2.3.1.2. | <i>Prótesis activas</i> .....                                      | 10 |
| 2.4.     | <b>Socket</b> .....  | 12 |
| 2.4.1.   | <b>Tipos de sockets</b> .....                                      | 13 |
| 2.4.2.   | <b>Criterio de diseño y selección de socket</b> .....              | 13 |
| 2.4.3.   | <b>Tipos de suspensión</b> .....                                   | 13 |
| 2.5.     | <b>Manufactura aditiva</b> .....                                   | 15 |
| 2.5.1.   | <b>Clasificación</b> .....   | 15 |
| 2.5.2.   | <b>Modelado por deposición fundida</b> .....                       | 15 |
| 2.5.2.1. | <i>Etapas principales</i> .....                                    | 16 |
| 2.5.2.2. | <i>Funcionamiento</i> .....  | 16 |
| 2.5.2.3. | <i>Material</i> .....  | 17 |
| 2.5.2.4. | <i>Escaneo</i> .....   | 20 |
| 2.6.     | <b>Método elementos finitos</b> .....                              | 20 |
| 2.6.1.   | <b>Definición</b> .....  | 20 |
| 2.6.2.   | <b>Descripción del MEF</b> .....                                   | 20 |
| 2.6.3.   | <b>Descripción de discretización de un medio continuo</b> .....    | 21 |
| 2.6.4.   | <b>Procesamiento general del método de elementos finitos</b> ..... | 21 |
| 2.6.4.1. | <i>Preprocesamiento</i> .....                                      | 22 |
| 2.6.4.2. | <i>Procesamiento</i> .....   | 22 |
| 2.6.4.3. | <i>Post procesamiento</i> .....                                    | 22 |
| 2.6.5.   | <b>Hipótesis y tipos de discretización</b> .....                   | 23 |
| 2.6.5.1. | <i>Elementos de discretización.</i> .....                          | 25 |
| 2.6.6.   | <b>Tipo de elemento finito</b> .....                               | 26 |

|                 |   |    |
|-----------------|---|----|
| <b>2.6.7.</b>   | <b><i>Técnicas de discretización</i></b> .....              | 27 |
| <b>2.6.7.1.</b> | <i>Malla estructurada</i> .....                             | 27 |
| <b>2.6.7.2.</b> | <i>Método algebraico</i> .....                              | 28 |
| <b>2.6.7.3.</b> | <i>Malla no estructurada</i> .....                          | 28 |
| <b>2.6.7.4.</b> | <b><i>Malla híbrida</i></b> .....                           | 28 |
| <b>2.7.</b>     | <b>Método de elementos finitos en Ansys Workbench</b> ..... | 29 |
| <b>2.7.1.</b>   | <b><i>Tipos de mallas en Ansys Workbench</i></b> .....      | 29 |
| <b>2.7.1.1.</b> | <i>Malla de barrido</i> .....                               | 29 |
| <b>2.7.1.2.</b> | <i>Malla de tipo barrido multidominio o multizona</i> ..... | 29 |
| <b>2.7.1.3.</b> | <i>Mallado tetraédrico</i> .....                            | 30 |
| <b>2.7.1.4.</b> | <i>Mallado automático</i> .....                             | 30 |
| <b>2.7.1.5.</b> | <i>Mallado dominado por hexaedros</i> .....                 | 30 |
| <b>2.8.</b>     | <b>Dinámica de sistemas multicuerpos</b> .....              | 31 |
| <b>2.8.1.</b>   | <b><i>Aplicaciones</i></b> .....                            | 31 |
| <b>2.9.</b>     | <b>Software 3D</b> .....                                    | 33 |
| <b>2.9.1.</b>   | <b><i>Tipos de programas 3D</i></b> .....                   | 33 |
| <b>2.9.1.1.</b> | <i>Escáner 3D SENSE</i> .....                               | 33 |
| <b>2.9.1.2.</b> | <i>Autodesk Recap Photo</i> .....                           | 33 |
| <b>2.9.1.3.</b> | <i>Autodesk Fusion 360</i> .....                            | 33 |
| <b>2.9.1.4.</b> | <i>SolidWorks</i> .....                                     | 34 |
| <b>2.9.1.5.</b> | <i>Ansys Workbench</i> .....                                | 34 |
| <b>2.9.1.6.</b> | <i>Msc Adams</i> .....                                      | 36 |

### CAPÍTULO III

|                 |  |    |
|-----------------|--|----|
| <b>3.</b>       | <b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....                      | 38 |
| <b>3.1.</b>     | <b>Metodología del diseño</b> .....                  | 38 |
| <b>3.2.</b>     | <b>Definición del producto</b> .....                 | 38 |
| <b>3.2.1.</b>   | <b><i>Requerimientos del cliente</i></b> .....       | 38 |
| <b>3.2.1.1.</b> | <i>Requerimientos de seguridad</i> .....             | 39 |
| <b>3.2.1.2.</b> | <i>Requerimientos de operación</i> .....             | 39 |
| <b>3.2.1.3.</b> | <i>Requerimientos funcionales</i> .....              | 39 |
| <b>3.2.1.4.</b> | <i>Requerimientos de costos</i> .....                | 40 |
| <b>3.2.2.</b>   | <b><i>Función de la casa de la calidad</i></b> ..... | 40 |
| <b>3.2.2.1.</b> | <i>Voz del usuario</i> .....                         | 40 |
| <b>3.2.2.2.</b> | <i>Voz del ingeniero</i> .....                       | 41 |

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| 3.2.3.    | <b>Resultados casa de la calidad</b> .....   | 43 |
| 3.3.      | <b>Diseño conceptual</b> .....   | 43 |
| 3.3.1.    | <b>Evaluación de la estructura funcional</b> .....                                   | 43 |
| 3.3.2.    | <b>Evaluación de la estructura modular</b> .....                                     | 44 |
| 3.3.2.1.  | <i>Nivel I</i> .....   | 44 |
| 3.3.2.2.  | <i>Nivel II</i> .....  | 44 |
| 3.4.      | <b>Matriz morfológica y generación de alternativas</b> .....                         | 45 |
| 3.4.1.    | <b>Módulo estructural</b> .....  | 45 |
| 3.4.2.    | <b>Módulo de control</b> .....   | 46 |
| 3.5.      | <b>Evaluación de alternativas</b> .....  | 46 |
| 3.5.1.    | <b>Evaluación del módulo funcional</b> .....   | 47 |
| 3.5.1.1.  | <i>Criterios de evaluación</i> .....   | 47 |
| 3.5.1.2.  | <i>Evaluación del criterio de ergonomía</i> .....                                    | 47 |
| 3.5.1.3.  | <i>Evaluación del criterio de resistencia</i> .....                                  | 47 |
| 3.5.1.4.  | <i>Evaluación del criterio de peso</i> .....   | 47 |
| 3.5.1.5.  | <i>Evaluación del criterio de costo</i> .....  | 48 |
| 3.5.1.6.  | <i>Resultados de las evaluaciones de cada parámetro del módulo funcional</i> .....   | 48 |
| 3.5.2.    | <b>Evaluación del módulo estructural</b> .....                                       | 48 |
| 3.5.2.1.  | <i>Criterios de evaluación</i> .....   | 48 |
| 3.5.2.2.  | <i>Evaluación del criterio de eficiencia</i> .....                                   | 48 |
| 3.5.2.3.  | <i>Evaluación del criterio de mantenimiento</i> .....                                | 49 |
| 3.5.2.4.  | <i>Evaluación del criterio de peso</i> .....   | 49 |
| 3.5.2.5.  | <i>Evaluación del criterio de costo</i> .....  | 49 |
| 3.5.2.6.  | <i>Resultados de las evaluaciones de cada parámetro del módulo estructural</i> ..... | 49 |
| 3.6.      | <b>Diseño y construcción de la prótesis</b> .....                                    | 49 |
| 3.6.1.    | <b>Prototipado</b> .....   | 49 |
| 3.6.1.1.  | <i>DFD del proceso en el prototipado</i> .....                                       | 50 |
| 3.6.1.2.  | <i>Escaneo 3D “SENSE Scanner”</i> .....  | 51 |
| 3.6.1.3.  | <i>Edición en ReCap Photo</i> .....  | 52 |
| 3.6.1.4.  | <i>Modelado en Fusion 360</i> .....  | 53 |
| 3.6.1.5.  | <i>Modelado en SolidWorks</i> .....  | 56 |
| 3.6.1.6.  | <i>Selección de Material</i> .....   | 58 |
| 3.6.1.7.  | <i>Análisis CAE</i> .....  | 62 |
| 3.6.1.8.  | <i>Análisis cinemático</i> .....   | 66 |
| 3.6.1.9.  | <i>Manufactura mediante impresión 3D</i> .....                                       | 68 |
| 3.6.1.10. | <i>Construcción y ensamblaje de la prótesis</i> .....                                | 69 |

|               |                                 |    |
|---------------|---------------------------------|----|
| <b>3.7.</b>   | <b>Análisis de costos</b> ..... | 70 |
| <b>3.7.1.</b> | <i>Costos directos</i> .....    | 71 |
| <b>3.7.2.</b> | <i>Costos indirectos</i> .....  | 72 |
| <b>3.7.3.</b> | <i>Costos totales</i> .....     | 72 |

#### **CAPÍTULO IV**

|             |                                     |    |
|-------------|-------------------------------------|----|
| <b>4.</b>   | <b>RESULTADOS</b> .....             | 73 |
| <b>4.1.</b> | <b>Validación estructural</b> ..... | 73 |
| <b>4.2.</b> | <b>Validación dinámica</b> .....    | 76 |
| <b>4.3.</b> | <b>Prueba de agarre</b> .....       | 83 |

|  |                           |    |
|--|---------------------------|----|
|  | <b>CONCLUSIONES</b> ..... | 85 |
|--|---------------------------|----|

|  |                              |    |
|--|------------------------------|----|
|  | <b>RECOMENDACIONES</b> ..... | 86 |
|--|------------------------------|----|

#### **BIBLIOGRAFÍA**

#### **ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 1-2:</b> Detalles anatómicos de la mano .....                          | 5  |
| <b>Tabla 2-2:</b> Tipos de prótesis según su accionamiento.....                 | 11 |
| <b>Tabla 3-2:</b> Tipos de sockets .....  | 13 |
| <b>Tabla 4-2:</b> Tipos de suspensión.....                                      | 14 |
| <b>Tabla 5-2:</b> Clasificación según la tecnología .....                       | 15 |
| <b>Tabla 6-2:</b> Materiales aptos para impresión 3D .....                      | 17 |
| <b>Tabla 7-2:</b> Propiedades del PLA .....                                     | 18 |
| <b>Tabla 8-2:</b> Propiedades del TPU .....                                     | 18 |
| <b>Tabla 9-2:</b> Características del elastano.....                             | 19 |
| <b>Tabla 10-2:</b> Propiedades del elastano.....                                | 19 |
| <b>Tabla 1-3:</b> Resultados del QFD.....                                       | 43 |
| <b>Tabla 2-3:</b> Módulo estructural.....                                       | 45 |
| <b>Tabla 3-3:</b> Módulo de control .....                                       | 46 |
| <b>Tabla 4-3:</b> Análisis de los criterios de evaluación .....                 | 47 |
| <b>Tabla 5-3:</b> Evaluación de ergonomía .....                                 | 47 |
| <b>Tabla 6-3:</b> Evaluación de resistencia .....                               | 47 |
| <b>Tabla 7-3:</b> Evaluación de peso (ligero).....                              | 47 |
| <b>Tabla 8-3:</b> Evaluación de costo .....                                     | 48 |
| <b>Tabla 9-3:</b> Tabla de resultados del módulo funcional.....                 | 48 |
| <b>Tabla 10-3:</b> Análisis de los criterios de evaluación .....                | 48 |
| <b>Tabla 11-3:</b> Evaluación de eficiencia.....                                | 48 |
| <b>Tabla 12-3:</b> Evaluación de mantenimiento .....                            | 49 |
| <b>Tabla 13-3:</b> Evaluación de peso .....                                     | 49 |
| <b>Tabla 14-3:</b> Evaluación de costo .....                                    | 49 |
| <b>Tabla 15-3:</b> Tabla de resultados del módulo estructural .....             | 49 |
| <b>Tabla 16-3:</b> Tiempos de impresión de las componentes de la prótesis ..... | 69 |
| <b>Tabla 17-3:</b> Costos de los materiales .....                               | 71 |
| <b>Tabla 18-3:</b> Costos de mano de obra.....                                  | 71 |
| <b>Tabla 19-3:</b> Costos de equipos y herramientas .....                       | 71 |
| <b>Tabla 20-3:</b> Costos de equipos y herramientas .....                       | 71 |
| <b>Tabla 21-3:</b> Costos indirectos .....                                      | 72 |
| <b>Tabla 22-3:</b> Costos totales.....  | 72 |
| <b>Tabla 1-4:</b> Resultados de la prueba de agarre .....                       | 83 |

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

|   |    |
|---|----|
| <b>Ilustración 1-2:</b> Anatomía y huesos de la mano humana (A,B) , grado de libertad (C) ..... | 5  |
| <b>Ilustración 2-2:</b> Movimientos de la mano.....   | 6  |
| <b>Ilustración 3-2:</b> Clasificación de los tipos de agarres .....                             | 7  |
| <b>Ilustración 4-2:</b> Niveles de amputación.....  | 9  |
| <b>Ilustración 5-2:</b> Prótesis pasiva.....  | 10 |
| <b>Ilustración 6-2:</b> Flexy hand .....  | 11 |
| <b>Ilustración 7-2:</b> Prótesis eléctrica .....  | 11 |
| <b>Ilustración 8-2:</b> Prótesis Neumática .....  | 12 |
| <b>Ilustración 9-2:</b> Prótesis mioeléctricas .....  | 12 |
| <b>Ilustración 10-2:</b> Sockets .....  | 13 |
| <b>Ilustración 11-2:</b> Suspensión asistida .....  | 13 |
| <b>Ilustración 12-2:</b> Auto suspensión.....   | 13 |
| <b>Ilustración 13-2:</b> Con arnés .....  | 14 |
| <b>Ilustración 14-2:</b> Auto suspensión.....   | 14 |
| <b>Ilustración 15-2:</b> Succión .....  | 14 |
| <b>Ilustración 16-2:</b> Fundas de silicona.....  | 14 |
| <b>Ilustración 17-2:</b> Vendas elásticas.....  | 14 |
| <b>Ilustración 18-2:</b> Etapas principales del proceso de impresión 3D por FDM .....           | 16 |
| <b>Ilustración 19-2:</b> Esquema funcional de impresión 3D por FDM .....                        | 16 |
| <b>Ilustración 20-2:</b> Metodología MEF para esfuerzos y deformaciones. ....                   | 23 |
| <b>Ilustración 21-2:</b> Elemento de discretización unidimensional.....                         | 25 |
| <b>Ilustración 22-2:</b> Elemento de discretización bidimensional.....                          | 25 |
| <b>Ilustración 23-2:</b> Elemento de discretización tridimensional. ....                        | 25 |
| <b>Ilustración 24-2:</b> Elemento de discretización axisimétrico. ....                          | 25 |
| <b>Ilustración 25-2:</b> Elemento de discretización para vigas.....                             | 25 |
| <b>Ilustración 26-2:</b> Elemento de discretización para placas planas .....                    | 26 |
| <b>Ilustración 27-2:</b> Tipos de elementos para mallado 2D.....                                | 26 |
| <b>Ilustración 28-2:</b> Tipos de elementos para mallado 3D.....                                | 26 |
| <b>Ilustración 29-2:</b> Malla compuesta .....  | 27 |
| <b>Ilustración 30-2:</b> Malla estructurada.....  | 27 |
| <b>Ilustración 31-2:</b> Malla generada por método algebraico .....                             | 28 |
| <b>Ilustración 32-2:</b> Malla no estructurada.....   | 28 |
| <b>Ilustración 33-2:</b> Malla híbrida.....   | 28 |
| <b>Ilustración 34-2:</b> Malla de barrido.....  | 29 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Ilustración 35-2:</b> Malla de tipo barrido multidominio.....         | 29 |
| <b>Ilustración 36-2:</b> Mallado tetraédrico.....                        | 30 |
| <b>Ilustración 37-2:</b> Mallado automático .....                        | 30 |
| <b>Ilustración 38-2:</b> Mallado dominado por hexaedros.....             | 30 |
| <b>Ilustración 39-2:</b> Estudio biomecánico.....                        | 33 |
| <b>Ilustración 40-2:</b> Flujo de trabajo.....                           | 34 |
| <b>Ilustración 41-2:</b> Proceso de mallado .....                        | 35 |
| <b>Ilustración 42-2:</b> Calidad de mallado en modo ortogonal .....      | 35 |
| <b>Ilustración 43-2:</b> Calidad de mallado en modo asimétrico.....      | 35 |
| <b>Ilustración 44-2:</b> Diagrama de la calidad de malla.....            | 36 |
| <b>Ilustración 45-2:</b> Análisis de cables.....                         | 37 |
| <b>Ilustración 1-3:</b> Etapas de diseño.....                            | 38 |
| <b>Ilustración 2-3:</b> Mecanismo de un dedo .....                       | 42 |
| <b>Ilustración 3-3:</b> QFD .....  | 42 |
| <b>Ilustración 4-3:</b> Estructura funcional.....                        | 44 |
| <b>Ilustración 5-3:</b> Nivel 1. ....                                    | 44 |
| <b>Ilustración 6-3:</b> Nivel 2. ....                                    | 44 |
| <b>Ilustración 7-3:</b> Proceso del prototipado. ....                    | 51 |
| <b>Ilustración 8-3:</b> Escaneado 3D .....                               | 51 |
| <b>Ilustración 9-3:</b> Abrir archivo STL.....                           | 52 |
| <b>Ilustración 10-3:</b> Editar en Recap Photo.....                      | 52 |
| <b>Ilustración 11-3:</b> Exportación desde Recap Photo.....              | 53 |
| <b>Ilustración 12-3:</b> Selección del archivo STL u OBJ.....            | 53 |
| <b>Ilustración 13-3:</b> Eliminación de historial de diseño.....         | 54 |
| <b>Ilustración 14-3:</b> Conversión a malla orgánica.....                | 54 |
| <b>Ilustración 15-3:</b> Conversión a malla T-Splines.....               | 55 |
| <b>Ilustración 16-3:</b> Exportación a formato STEP .....                | 55 |
| <b>Ilustración 17-3:</b> Modelado de los dedos .....                     | 56 |
| <b>Ilustración 18-3:</b> Modelado de la mano.....                        | 56 |
| <b>Ilustración 19-3:</b> Modelado de las articulaciones.....             | 57 |
| <b>Ilustración 20-3:</b> Modelado del brazalete.....                     | 57 |
| <b>Ilustración 21-3:</b> Modelado del muñón .....                        | 57 |
| <b>Ilustración 22-3:</b> Familia de polímeros y materiales ligeros. .... | 58 |
| <b>Ilustración 23-3:</b> Resistencia térmica vs densidad.....            | 59 |
| <b>Ilustración 24-3:</b> Módulo de Young vs densidad .....               | 59 |
| <b>Ilustración 25-3:</b> Precio vs densidad .....                        | 60 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Ilustración 26-3:</b> Porcentaje de elongación vs densidad.....                     | 60 |
| <b>Ilustración 27-3:</b> Resistencia a la tensión vs elongación .....                  | 60 |
| <b>Ilustración 28-3:</b> Resistencia a la tensión vs elongación .....                  | 61 |
| <b>Ilustración 29-3:</b> Elongación vs densidad .....                                  | 61 |
| <b>Ilustración 30-3:</b> Módulo de Young vs densidad .....                             | 62 |
| <b>Ilustración 31-3:</b> Diagrama de fuerzas en 3D.....                                | 62 |
| <b>Ilustración 32-3:</b> Diagrama de fuerzas en 2D.....                                | 63 |
| <b>Ilustración 33-3:</b> Obtención experimental de una fuerza .....                    | 63 |
| <b>Ilustración 34-3:</b> Obtención de la constante elástica del elastano .....         | 64 |
| <b>Ilustración 35-3:</b> Geometría protésica de análisis .....                         | 64 |
| <b>Ilustración 36-3:</b> Ubicación de soportes en Ansys .....                          | 64 |
| <b>Ilustración 37-3:</b> Parámetros para refinación de malla.....                      | 65 |
| <b>Ilustración 38-3:</b> Calidad de mallado .....                                      | 65 |
| <b>Ilustración 39-3:</b> Ubicación de fuerzas.....                                     | 65 |
| <b>Ilustración 40-3:</b> Total de cargas .....   | 66 |
| <b>Ilustración 41-3:</b> Análisis del mecanismo .....                                  | 66 |
| <b>Ilustración 42-3:</b> Ubicación de los cables en los dedos .....                    | 67 |
| <b>Ilustración 43-3:</b> Posición final flexionando los dedos con el cable .....       | 67 |
| <b>Ilustración 44-3:</b> Secuencia de parámetros para Adams.....                       | 68 |
| <b>Ilustración 45-3:</b> Creality CP-01 (A), Creality CR 10 MAX (B) .....              | 68 |
| <b>Ilustración 46-3:</b> Construcción de la mano .....                                 | 69 |
| <b>Ilustración 47-3:</b> Brazaletes de sujeción .....                                  | 69 |
| <b>Ilustración 48-3:</b> Prototipo completo.....                                       | 70 |
| <b>Ilustración 49-3:</b> Muñón flexible.....   | 70 |
| <b>Ilustración 1-4:</b> Deformación total sin carga externa en ANSYS .....             | 73 |
| <b>Ilustración 2-4:</b> Deformación total con carga externa en ANSYS .....             | 73 |
| <b>Ilustración 3-4:</b> Esfuerzo elástico equivalente sin carga externa en ANSYS ..... | 74 |
| <b>Ilustración 4-4:</b> Esfuerzo elástico equivalente con carga externa en ANSYS.....  | 74 |
| <b>Ilustración 5-4:</b> Factor de seguridad sin carga externa en ANSYS .....           | 75 |
| <b>Ilustración 6-4:</b> Factor de seguridad con carga externa.....                     | 75 |
| <b>Ilustración 7-4:</b> Diagrama fuerza vs tiempo para el dedo meñique.....            | 76 |
| <b>Ilustración 8-4:</b> Diagrama velocidad vs tiempo para el dedo meñique .....        | 76 |
| <b>Ilustración 9-4:</b> Diagrama posición vs tiempo para el dedo meñique .....         | 77 |
| <b>Ilustración 10-4:</b> Diagrama fuerza vs tiempo para el dedo anular.....            | 77 |
| <b>Ilustración 11-4:</b> Diagrama velocidad vs tiempo para el dedo anular .....        | 78 |
| <b>Ilustración 12-4:</b> Diagrama posición vs tiempo para el dedo anular .....         | 78 |



|   |    |
|---|----|
| <b>Ilustración 13-4:</b> Diagrama fuerza vs tiempo para el dedo medio.....      | 79 |
| <b>Ilustración 14-4:</b> Diagrama velocidad vs tiempo para el dedo medio .....  | 79 |
| <b>Ilustración 15-4:</b> Diagrama posición vs tiempo para el dedo medio .....   | 80 |
| <b>Ilustración 16-4:</b> Diagrama fuerza vs tiempo para el dedo índice .....    | 80 |
| <b>Ilustración 17-4:</b> Diagrama velocidad vs tiempo para el dedo índice ..... | 81 |
| <b>Ilustración 18-4:</b> Diagrama posición vs tiempo para el dedo índice .....  | 81 |
| <b>Ilustración 19-4:</b> Diagrama fuerza vs tiempo para el dedo pulgar .....    | 82 |
| <b>Ilustración 20-4:</b> Diagrama velocidad vs tiempo para el dedo pulgar.....  | 82 |
| <b>Ilustración 21-4:</b> Diagrama posición vs tiempo para el dedo pulgar .....  | 83 |

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** CREALITY CP-01

**ANEXO B:** CREALITY CR-10 MAX

**ANEXO C:** ESPECIFICACIONES DEL TPU

**ANEXO D:** ESPECIFICACIONES DEL PLA

**ANEXO E:** PROTOCOLO DE PRUEBAS

**ANEXO F:** PLAN DE MANTENIMIENTO

**ANEXO G:** PLANOS

## RESUMEN

La investigación se centró en el diseño y construcción de una prótesis mecánica para amputación transmetacarpal controlada por muñón flexible y cables, para mejorar la capacidad de realizar actividades cotidianas de los usuarios. Se realizó una amplia investigación de la anatomía y biomecánica de la mano, así como de las necesidades y expectativas de los usuarios, utilizando un enfoque interdisciplinario que combina la ingeniería, la biomecánica, la psicología y la ergonomía. El desarrollo del proyecto comenzó con un análisis de las necesidades del usuario y la definición del alcance de la prótesis. Luego se procedió al prototipado utilizando tecnología de barrido mediante nube de puntos y se plasmaron las demandas del usuario en un prototipo. Se realizó un estudio CAE para validar el diseño y la selección de materiales de cada una de las partes de la prótesis, utilizando TPU y PLA debido a su resistencia y biocompatibilidad con la piel. Se evaluó la funcionalidad de la prótesis mediante un protocolo de pruebas bajo la norma AHAP y se obtuvieron resultados satisfactorios con un 60% de satisfacción según la norma. La prótesis presentó una buena capacidad de agarre a bajo costo en comparación con las prótesis existentes en el mercado y puede ser mejorada aumentando la capacidad de carga, incrementando el número de hilos y rediseñando las articulaciones. En conclusión, la investigación logró diseñar y construir una prótesis mecánica que mejora la capacidad de realizar actividades cotidianas de los usuarios con amputación transmetacarpal. El enfoque interdisciplinario y la utilización de tecnología de vanguardia permitieron validar el diseño y se logró una buena capacidad de agarre a bajo costo. La prótesis tiene potencial para ser mejorada y puede ser una solución accesible para las personas que requieren este tipo de dispositivos.

**Palabras clave:** <PRÓTESIS> <AMPUTACIÓN TRANSMETACARPAL> <PROTOTIPO>  
<NUBE DE PUNTOS> <SOFTWARE CAE>

1277-DBRA-UPT-2023



## SUMMARY

The research focused on the design and construction of a mechanical prosthesis for transmetacarpal amputation controlled by a flexible stump and cables, to improve the ability of users to perform daily activities. Extensive research into the anatomy and biomechanics of the hand, as well as the needs and expectations of users, was conducted using an interdisciplinary approach combining engineering, biomechanics, psychology and ergonomics. The development of the project began with an analysis of the user's needs and the definition of the scope of the prosthesis. Prototyping was then carried out using point cloud scanning technology and the user's demands were captured in a prototype. A CAE study was carried out to validate the design and selection of materials for each part of the prosthesis, using TPU and PLA due to their resistance and biocompatibility with the skin. The functionality of the prosthesis was evaluated through a test protocol under the AHAP standard and satisfactory results were obtained with 60% satisfaction according to the standard. The prosthesis presented a good gripping capacity at a low cost compared to existing prostheses on the market and can be improved by increasing the load capacity, increasing the number of threads and redesigning the joints. In conclusion, the research managed to design and build a mechanical prosthesis that improves the ability to perform daily activities of users with transmetacarpal amputation. The interdisciplinary approach and the use of state-of-the-art technology allowed the design to be validated and good gripping capacity was achieved at low cost. The prosthesis has the potential to be improved and can be an accessible solution for people who require this type of device.

**Keywords:** <PROSTHESIS> <TRANSMETACARPAL AMPUTATION> <PROTOTYPE>  
<POINT CLOUD> <CAE SOFTWARE>



**Lic. Luis Francisco Mantilla Cabrera Mgs.**

CI: 0603747809

## INTRODUCCIÓN

La pérdida parcial de una mano como es una amputación transmetacarpal, puede tener un impacto significativo en la calidad de vida de una persona. En respuesta a esta necesidad, se ha desarrollado una variedad de prótesis de mano que buscan restaurar la función perdida y mejorar la calidad de vida de las personas amputadas. En la actualidad mercado de prótesis tiene mayor elección por las electrónicas, sin embargo, estas son muy costosas tanto en su fabricación como en su mantenimiento. La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ha desarrollado varios modelos de prótesis mediante impresión 3D, la gran mayoría enfocadas en accionamiento mioeléctrico dejando de lado el desarrollo de prótesis netamente mecánicas, descartándolas como una alternativa inferior, a pesar de que tienen un gran potencial por su sencillez y bajo costo.

El desarrollo en investigación de las prótesis ha evolucionado significativamente, lo cual ha ayudado con la implementación de nuevos modelos de prótesis, los cuales suplen las funciones más básicas de algún miembro faltante en una persona. Para ello se desarrolla este proyecto que tiene como principal objetivo diseño y construcción de una prótesis mecánica para amputación transmetacarpal controlada por muñón flexible y cables para una persona adulta.

Se utilizaron varios proyectos ya desarrollados como aporte referencial en esta investigación, tal es el caso de Tierra, A. quien en 2017 realizó el diseño de una prótesis mioeléctrica de brazo para un niño con un defecto congénito de brida amniótica, en otro proyecto realizado Mayo de 2020 por Guacho D. diseñó y construyó una prótesis ergonómica de antebrazo y mano derecha por medio de tecnologías de escaneo 3d.

Esta investigación está dividida en cuatro capítulos, diagnóstico del problema, revisión literaria, marco metodológico y resultados. En el capítulo III (marco metodológico) se emplea la metodología del diseño concurrente que consiste en cuatro etapas principales, definición del producto donde se emplea la casa de la calidad en donde se definen las especificaciones, el diseño conceptual para evaluar la estructura funcional y las alternativas de solución de cada elemento del diseño, el diseño de materialización donde se realiza el modelado CAD y simulación para la validación cinética y de resistencia, finalmente el diseño de detalle que se especifica en los planos. También se detalla cómo se desarrolló la construcción y puesta en funcionamiento del prototipo, así como los resultados obtenidos y protocolo de mantenimiento

## CAPÍTULO I

### 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

#### 1.1 Antecedentes

Se alude que a nivel mundial existen más de mil millones de personas con algún tipo de discapacidad. Según la OMS, calcula que el 15% de la población mundial tiene algún tipo de discapacidad, entre ellas está la amputación de miembro superior. Si bien es cierto en el Ecuador han existido proyectos sociales desarrollados por el gobierno o empresas privadas para la fabricación de prótesis, sin embargo, estas prótesis no cumplen con las características básicas para que el usuario pueda realizar sus actividades (Pinto y López, 2017, p. 23).

En distintas universidades del país se ha optado por desarrollar prótesis, algunas como proyectos sociales, otras como proyectos de titulación. En la ESPOCH, se ha venido desarrollando investigación acerca de bioingeniería en el grupo de investigación GIEBI, lugar donde varios proyectos de investigación fueron de obra social donde uno de los casos fue el desarrollo de una prótesis para miembro superior cuya amputación estaba realizada por debajo del codo.

Hoy en día existen varias fundaciones de desarrollo de prótesis mediante impresión 3D, sin embargo, éstas son únicamente cosméticas ya que no son funcionales descuidando las necesidades de las personas. Ecu prótesis 3D cuenta con diseños libres en internet de prótesis sin embargo la fabricación de una prótesis es muy costosa.

Para la investigación en proceso se tendrá en cuenta como referente al proyecto “Diseño e implementación de un prototipo de prótesis de mano biónica” realizada por Katherine Pinto y David López, en donde previamente se realiza un modelado de la prótesis y posteriormente un análisis estático para cada falange y determinar el momento y esfuerzo máximo que soportarán, además se procederá al estudio cinemático mediante software, esto apoyado en el artículo científico “Design and Analysis of Flexible Joints for a Robust 3D Printed Prosthetic Hand” desarrollado por Farah Alkhatib (Alkhatib, Mahdi y Cabibihan, 2019, pp. 2-3).

#### 1.2 Delimitación

##### 1.2.1 *Delimitación espacial*

El trabajo de integración curricular tipo proyecto técnico, se desarrolla para el grupo de investigación en diseño y producción GIEBI de la Facultad de Mecánica, carrera Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ubicada en la ciudad de Riobamba capital de la provincia de Chimborazo.

### **1.2.2 Delimitación sectorial**

En base al Plan Nacional de Desarrollo 2021 – 2025, se determina que el trabajo de integración curricular tipo proyecto técnico está acorde al eje 2, concerniente a la economía al servicio de la sociedad; al mejorar la formación de los futuros profesionales, en concordancia con los planes gubernamentales de diversificar la matriz productiva, aportarían con el crecimiento económico del sector productivo del país.

### **1.3 Formulación del problema**

En el Ecuador el 46.63% de personas presentan discapacidad por amputación, la discapacidad física que presenta este sector de la población ha provocado que su desarrollo personal y profesional se vea limitado. Este suceso genera discriminación laboral e incluso físicos, evitando que estas personas no acceden a los beneficios a los que están sujetos el resto de la población.

Las prótesis existentes en el medio están limitadas debido al desarrollo tecnológico con un valor monetario muy elevado, lo cual ha hecho que las personas con bajo nivel económico no puedan adquirirlas y las que son de bajo costo son únicamente cosméticas limitando el desempeño de la persona.

El desarrollo de este proyecto es de gran importancia demostrando que las personas pueden retomar sus actividades cotidianas con apoyo implementando nueva tecnología en el país. La extracción de algún miembro del cuerpo afecta psicológicamente a las personas alterando su sensibilidad emocional y vida social además de que son rechazados en el campo laboral incluso si la persona cuenta con un nivel de preparación académica puede llegar a tener efectos similares. Para tratar de aliviar estas consecuencias se está colaborando en el desarrollo de una prótesis de bajo costo con características funcionales de movilidad para cuando una persona adulta ha tenido pérdida parcial de la mano.

### **1.4 Justificación**

Este proyecto tiene como finalidad mejorar la calidad de vida y el nivel ocupacional de las personas permitiendo desarrollar todas las funciones en donde la prótesis va a soportar carga. Además, psicológicamente el usuario tendrá un nivel social normal esto debido a que la prótesis es estéticamente muy similar a una cosmética.

El diseño de la prótesis se basa en conocimientos teóricos basados en estudios previos de tipos de amputaciones en miembros superiores y los niveles a los que se les realiza la amputación, en donde resalta la amputación parcial de mano que puede ser distal, a la altura de las falanges a distintos niveles o de los metacarpianos. La selección de materiales se realiza mediante CES EDUPAK y verificación de resistencia y rigidez mediante ANSYS WORKBENCH. Los buenos resultados de este proyecto permiten una expansión industrial y social debido a su bajo costo en comparación con otras prótesis.

## **1.5 Alcance**

En el desarrollo del presente trabajo se tendrá en cuenta el cálculo de la resistencia de los materiales seleccionados y geometría propuesta mediante software CAE con un estudio cinemático y cinético mediante software. La prótesis mecánica diseñada será de miembro superior con amputación parcial de mano transmetacarpal para un hombre adulto ecuatoriano, cuyo mecanismo se basa en la flexión del muñón provocando una tensión en los cables para que posteriormente se contraigan los dedos, consiguiéndose la sujeción de objetos. Para la validación del diseño propuesto se procederán a hacer pruebas en vacío teniendo en cuenta que la prótesis tenga un movimiento similar al de la mano con un muñón impreso de filamento flexible para que se produzca un escenario más realista de flexión en la muñeca de la prótesis. Se debe tener en cuenta que las bisagras que unen a cada elemento deben ser impreso con filamento flexible, esto se hace para simular un movimiento más realista al de la mano verificando la cinética y resistencia de las bisagras mediante software.

## **1.6 Objetivos**

### ***1.6.1 Objetivo general***

Diseñar y construir una prótesis para amputación transmetacarpal controlada por muñón flexible y cables para una persona adulta.

### ***1.6.2 Objetivos específicos***

- Elaborar el marco teórico a partir de estudios ya realizados.
- Determinar los requerimientos funcionales y parámetros de diseño.
- Desarrollar el diseño conceptual de la prótesis.
- Realizar el estudio cinemático y cinético del mecanismo mediante software.
- Evaluar la resistencia mecánica de la prótesis mediante software.
- Fabricar el muñón mediante el escaneo e impresión 3D.
- Fabricar la prótesis mediante adaptaciones tecnológicas.
- Evaluar la funcionalidad de la prótesis para sujetar distintos objetos.

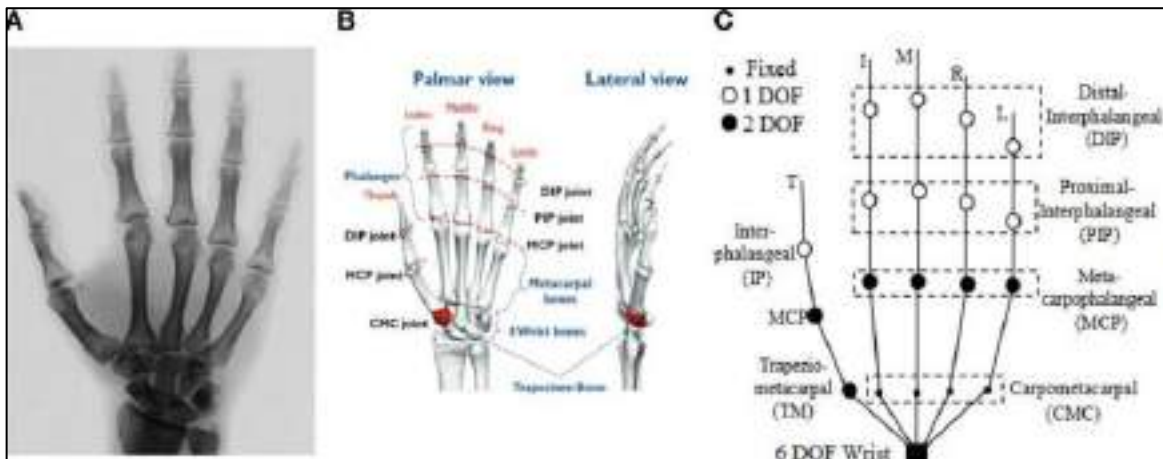


## CAPÍTULO II

### 2 MARCO TEÓRICO

#### 2.2 Anatomía y fisiología básica de la mano

La mano como parte del cuerpo humano va unida con antebrazo y los dedos. Para el ser humano, es considerada una de las partes más importantes funcionalidad, puesto que se realizan múltiples movimientos y acciones necesarias para la supervivencia y relación con el entorno (Lopesino, 2018, pp. 10-20).



**Ilustración 1-2:** Anatomía y huesos de la mano humana (A,B), grado de libertad (C)

Fuente: (Tian et al., 2017).

**Tabla 1-2:** Detalles anatómicos de la mano

|                 |  |
|-----------------|--|
| <b>Huesos</b>   | <p><b>Carpianos:</b> escafoides, semilunar, piramidal, pisiforme, trapecio, trapezoide, hueso grande (capitado), hueso ganchoso.</p> <p><b>Metacarpianos:</b> base, cuerpo, cabeza</p> <p><b>Falanges:</b> proximal, media, distal</p>   |
| <b>Músculos</b> | <p><b>Músculos tenares:</b> abductor corto del pulgar, aductor del pulgar, flexor corto del pulgar, oponente del pulgar</p> <p><b>Músculos hipotenares:</b> abductor del meñique, flexor corto del meñique, oponente del meñique, palmar corto</p> <p><b>Músculos cortos de la mano:</b> lumbricales, interóseos palmares, interóseos dorsales</p> |
| <b>Nervios</b>  | <p><b>Nervio mediano y sus ramos (nervios digitales palmares comunes y propios):</b> inervan predominantemente a los músculos tenares</p> <p><b>Nervio radial:</b> inerva la piel de la parte lateral del pulgar</p>   |

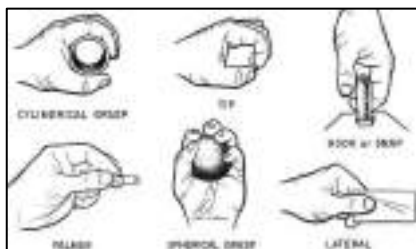
|                 |  |
|-----------------|--|
|                 | <b>Nervio ulnar y sus ramos (superficial, profundo y dorsal):</b><br>inervan los músculos hipotenares y metacarpianos  |
| <b>Arterias</b> | Todas las arterias son ramas de las arterias ulnar y radial. Estas incluyen: arcos palmares (superficial, profundo), arterias digitales palmares (comunes, propias), red carpiana dorsal, arterias metacarpianas dorsales, arterias digitales dorsales, arteria principal del pulgar |
| <b>Venas</b>    | <b>Red venosa dorsal de la mano:</b> red principal de drenaje venoso de la mano. Da lugar a las venas cefálicas y basílicas<br><b>Arcos venosos palmares:</b> reciben las venas metacarpianas palmares y digitales. Drenan en las venas radiales y lunares                           |
| <b>Muñeca</b>   | Es capaz de realizar diversos movimientos como la flexión, la extensión, la abducción y la aducción. También facilita el paso de los tendones y de diversas estructuras neurovasculares desde el antebrazo hacia la mano   |

**Fuente:** (Lopesino, 2018, pp. 10-20).

### 2.2.1 *Movimientos de los dedos*

La anatomía ósea de los dedos: índice, medio, anular y meñique, es similar respecto a su funcionamiento y en cuanto a las partes que los componen. Es así como el análisis de movimiento se realiza únicamente sobre uno de ellos. Estos están compuestos por tres falanges que son: distal, intermedio y proximal, las mismas que realizan el mecanismo de agarre a través de los movimientos de cierre de gancho y los de apertura sobre el eje en la palma de la mano. Esto hace que la mano pueda adaptar sus agarres a varias formas de objetos. El dedo pulgar por su parte cuenta con dos falanges, la distal y proximal, esto hace que sea el dedo más pequeño de la mano y debido a su posición es ideal para realizar el movimiento de agarre (Guacho, 2018, p. 11).

La gran cantidad de músculos y articulaciones en la mano proporciona los distintos patrones de movimiento. No tan evidentes, pero importantes para entender la complejidad y la destreza del movimiento, son las grandes áreas de la corteza cerebral dedicadas a la coordinación del movimiento y la sensación en la mano. Así, en la corteza motora el área dedicada a las manos aproximadamente.

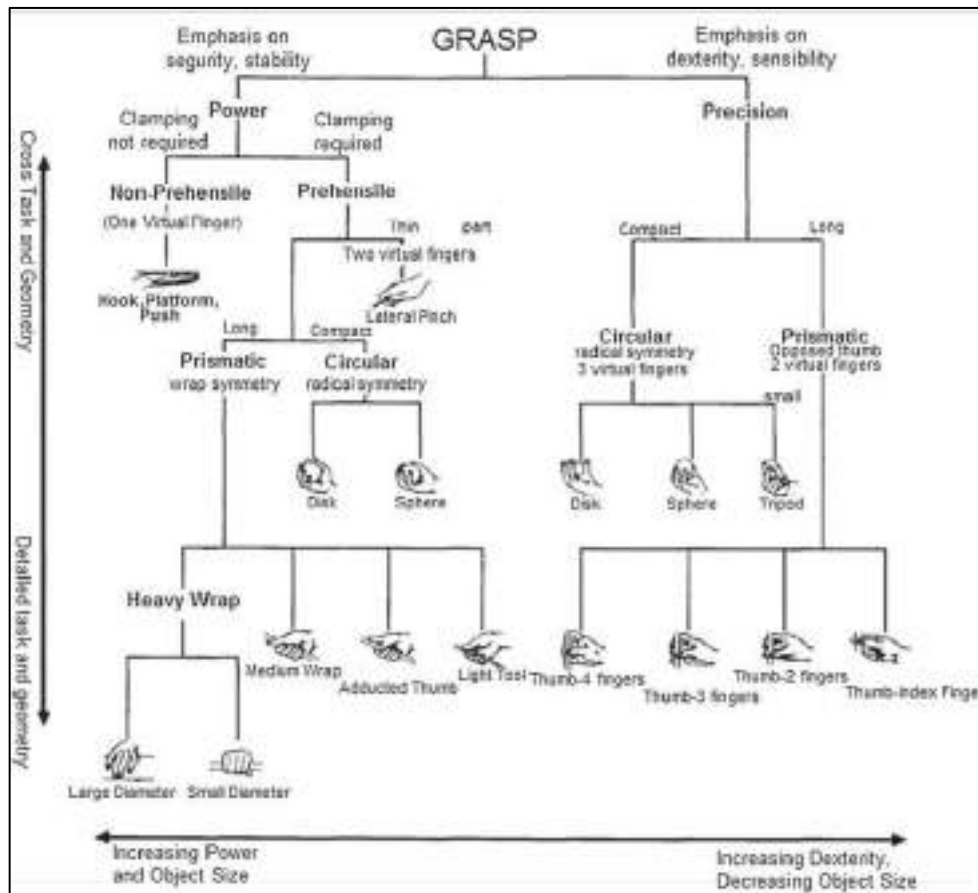


**Ilustración 2-2:** Movimientos de la mano

**Fuente:** (Taylor y Schwarz, 2000, p. 12).

### 2.2.1.1 Generalización de los tipos de agarre

Existen muchas formas de agarre que una mano puede hacer, de forma globalizada serían los siguientes.



**Ilustración 3-2:** Clasificación de los tipos de agarres

Fuente: (Maw, W. & Gillespie, P., 2016)

### 2.2.2 Antropometría de la mano

La antropometría es el tratado de las proporciones y medidas del cuerpo humano. Además, utiliza la ergonomía como la ciencia encargada de estudiar tanto las dimensiones del ser humano incluidos sus movimientos, como su peso, su volumen, sus fuerzas, sus desplazamientos angulares haciendo que la prótesis tenga medidas similares a la humana (Piñeda et al., 2016).

#### 2.2.2.1 Longitud de la mano

El antebrazo y la palma de la mano deben estar extendidos, apoyados sobre una superficie plana y cómoda en donde la mano debe tener los dedos unidos, posteriormente se mide la distancia entre el estilión y dactilión (puntos antropométricos). Dicha medida se debe tomar con un calibrador de ramas cortas. Con el dactilión que es el punto más distal del dedo medio, se determina la altura y la longitud de la mano, que puede ser izquierda o derecha. Esta medida es útil para el diseño de guantes, muñeca además es el punto referencial para el movimiento de la mano (Piñeda et al., 2016).

#### 2.2.2.2 *Longitud de la palma de la mano*

Esta magnitud se debe tomar con un compás de ramas cortas, se mide entre el pliegue de la piel más próxima de la muñeca, entre el punto más distal de la muñeca hasta la articulación del metacarpo falange del dedo medio (Piñeda et al., 2016).

#### 2.2.2.3 *Altura máxima de la palma de la mano*

Esta distancia se mide con pie de rey de ramas cortas, y se toma entre los planos más laterales de la palma perpendiculares al eje de la mano, teniendo cuidado de no encoger la mano. Esta magnitud indica el espacio para los movimientos laterales de la mano (Piñeda et al., 2016).

#### 2.2.2.4 *Altura máxima de la mano con el pulgar*

Se mide con el calibrador de ramas cortas o vernier, es la distancia del plano cubital de la palma al borde más lateral del pulgar, el dedo debe estar unido suavemente a la palma. Se puede utilizar para el diseño de guantes y otros elementos de protección para las manos (Piñeda et al., 2016).

#### 2.2.2.5 *Espesor de la mano*

El espesor se debe medir con el calibrador de ramas cortas, en donde se determina como la medida del espesor máximo de la mano sobre los nudillos (Piñeda et al., 2016)..

### 2.2.3 *Amputaciones*

Según la OMS, la amputación comprende la extirpación de una extremidad o parte de un miembro (como una mano, un pie), como consecuencia de una lesión, enfermedad, infección o cirugía (para la extirpación de tumores de los huesos y músculos) (StayWell, 2019).

Una amputación parcial de la mano siempre es perturbadora, en donde puede causar angustia psicológica y pérdida del trabajo que desempeñaba la persona, lo que conlleva a un impacto financiero (Clara et al., 2009).

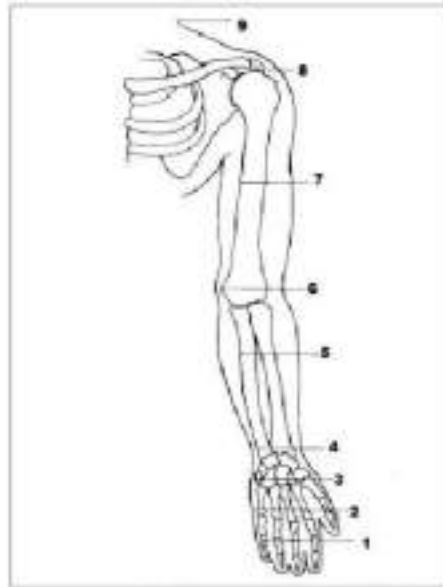
Estas amputaciones pueden estar asociadas a cuatro causas principales que son:

- Traumatismos: Provocado por cualquier tipo de accidente un trauma de una parte de la mano.
- Neoplasias: Se refiere a los tumores.
- Enfermedades como las vasculares periféricas, infecciones o daños en los nervios.
- Anomalías congénitas: Debido a la malformación de la mano está presente desde el nacimiento.

Se puede clasificar una amputación con base en la altura o nivel en que ha sido realizada. Los siguientes son los niveles más comunes para las amputaciones.

1. Transfalangeal
2. Transmetacarpal

3. Transcarpal
4. Desarticulación de la muñeca
5. Amputación transradial (debajo del codo)
6. Desarticulación de codo
7. Amputación transhumeral (encima del codo)
8. Desarticulación de hombro
9. Amputación de clavícula



**Ilustración 4-2:** Niveles de amputación.

**Fuente:** (Díaz, 2008, p. 8)

#### 2.2.3.1 *Transfalangeal*

Amputación de uno o más dedos de la mano, estas amputaciones pueden ser parciales o totales (Zhindón, 2022, p. 22).

#### 2.2.3.2 *Transmetacarpal*

Amputación parcial de la mano dada por medio del carpo (Zhindón, 2022, p. 22).

#### 2.2.3.3 *Trascarpal*

Amputación parcial del esqueleto de la muñeca (Zhindón, 2022, p. 22).

#### 2.2.3.4 *Desarticulación de la muñeca*

Amputación donde la mano es removida desde la muñeca (Zhindón, 2022, p. 22).

#### 2.2.3.5 *Amputación transradial*

Amputación que se da en el hueso del radio (Zhindón, 2022, p. 22).

### 2.2.3.6 *Desarticulación del codo*

Amputación donde el antebrazo es removido a partir de la articulación del codo (Zhindón, 2022, p. 22).

### 2.2.3.7 *Amputación transhumeral*

Amputación que se realiza en el hueso del húmero, conserva la articulación del hombro (Zhindón, 2022, p. 22).

### 2.2.3.8 *Desarticulación del hombro*

Amputación total del brazo donde este es removido desde la articulación del hombro (Zhindón, 2022, p. 22).

## 2.3 **Prótesis**

Una prótesis es un elemento que reemplaza una parte del cuerpo que ha sido amputado, bien por el desarrollo incompleto o imperfecto de un órgano o de alguna de las partes. Por lo tanto, una prótesis para el paciente siempre colabora con el desarrollo psicológico del mismo, creando una percepción de totalidad al recobrar movilidad y aspecto (Lopesino, 2018, pp. 34-37).

### 2.3.1 *Tipos de prótesis*

Existen de dos tipos: activas las cuales poseen movimiento propio y las pasivas quienes carecen de dicho movimiento.

#### 2.3.1.1 *Prótesis pasivas*

Son las comúnmente prótesis estéticas o cosméticas que a su vez son usadas con finalidades estéticas para mejorar el aspecto físico (Lopesino, 2018, pp. 10-20).



**Ilustración 5-2:** Prótesis pasiva.

Fuente: (Maw, W. & Gillespie, P., 2016)

#### 2.3.1.2 *Prótesis activas*

Son las encargadas de proveer movilidad al muñón, supliendo en cierta forma algunas de las funciones del miembro amputado. Estas prótesis se clasifican en: mecánicas, eléctricas, neumática, híbrida

3 amputado. Estos tipos de prótesis se clasifican en: mecánicas, eléctricas, neumática, híbrida.

**Tabla 2-2:** Tipos de prótesis según su accionamiento

| <b>Tipo</b>      | <b>Descripción</b>  |
|------------------|---|
| <b>Mecánica</b>  | <p>Las prótesis mecánicas se accionan con la función de cierre o apertura a voluntad del usuario, controlados como por ejemplo por medio de un arnés, el arnés se encuentra sujeto alrededor de los hombros, parte del pecho y del brazo. A su vez la prótesis no debe ser accionada por ningún dispositivo electrónico</p> <div data-bbox="767 770 1166 969" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="767 981 1098 1010"><b>Ilustración 6-2:</b> Flexy hand</p> <p data-bbox="767 1025 986 1055">Fuente: (Bauchau, 2011)</p>                           |
| <b>Eléctrica</b> | <p>Utilizan servomotores u otro dispositivo electrónico en terminales, muñeca o codo, a su vez puede tener una batería recargable. El precio para su adquisición es relativamente elevado. Además, este tipo de prótesis tiene otras desventajas como son un mantenimiento complejo y baja resistencia a medios húmedos y son pesadas.</p> <div data-bbox="778 1451 1158 1704" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="767 1720 1166 1749"><b>Ilustración 7-2:</b> Prótesis eléctrica</p> <p data-bbox="767 1765 986 1794">Fuente: (Larriba, 2020)</p> |
| <b>Neumática</b> | <p>Estas prótesis son accionadas con ayuda de ácido carbónico comprimido, que proporciona energía. Aunque, tiene como desventaja el uso de sus elementos y el riesgo en el ácido carbónico.</p>   |

|                            |  |
|----------------------------|--|
|                            |  <p><b>Ilustración 8-2:</b> Prótesis Neumática</p> <p><b>Fuente:</b> (Lopesino, 2018, pp. 10-20)</p>   |
| <p><b>Mioeléctrica</b></p> | <p>Son controladas por señales eléctricas que se transmiten desde los músculos hasta la piel. El control mioeléctrico se basa en la contracción del músculo produciendo una pequeña señal eléctrica que va de 5 a 200 microvoltios. La señal se transmite mediante sensores llamados electrodos que están en contacto con la superficie de la piel, permitiendo registrar la señal, la cual se amplifica y procesa por un controlador que conmuta los motores encendiéndolos o apagándolos.</p>  <p><b>Ilustración 9-2:</b> Prótesis mioeléctricas</p> <p><b>Fuente:</b> (Lopesino, 2018, pp. 10-20)</p> |

**Fuente:** (Lopesino, 2018, pp. 10-20)

## 2.4 Socket

El socket es una porción de la prótesis que toma la forma del muñón permitiendo aplicar una fuerza distribuyendo uniformemente los esfuerzos en la prótesis. Por lo tanto, el socket es una parte imprescindible de la prótesis puesto que sirve para alojar el muñón y desempeña funciones de apoyo, acoplamiento, control, coordinación e interacción entre el paciente y el miembro artificial (Díaz, 2008, pp. 13-16).

El socket o encaje es un elemento de conexión entre el muñón y la prótesis, es por ese motivo que su diseño se vuelve fundamental, en donde las necesidades del paciente son los requerimientos ergonómicos indispensables para el diseño y fabricación de los diferentes sockets (Carretero y García, 2016, pp. 19-20).





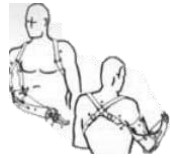

**Ilustración 10-2: Sockets**

Fuente: (Zhindón, 2022, p. 46).

### 2.4.1 Tipos de sockets

Pueden ser de suspensión asistida y de auto suspensión como se muestra en la tabla 3-2.

**Tabla 3-2:** Tipos de sockets

| Tipo   | Descripción   | Ventajas   | Desventajas  |
|--|---|--|--|
|  <p><b>Ilustración 11-2:</b><br/>Suspensión asistida<br/>Fuente: (Díaz, 2008, p. 18)</p> | Consiste en un segmento de contacto total con el muñón, ayudado de un sistema de correas.   | <p>Cuando el tamaño de muñón es muy pequeño ofrece buen rango de movimiento.</p> <p>Seguridad en la suspensión.</p> <p>Buen rango flexión-extensión.</p>                           | <p>Incómodo</p> <p>No distribuye la presión de forma uniforme.</p> <p>Deficiente transferencia de energía del muñón a la prótesis.</p> |
|  <p><b>Ilustración 12-2:</b> Auto suspensión<br/>Fuente: (Díaz, 2008, p. 18)</p>        | El socket y el muñón se fijan en una posición de flexión y extensión final, el socket depende de la anatomía para tener una restricción física. | <p>Más cómodo que el Split y mayor facilidad de uso</p> <p>Se puede optar por diferentes tipos de suspensión.</p> <p>Se puede aplicar mayor esfuerzo de torsión sobre el codo.</p> | <p>Limitación en el rango de flexión – extensión.</p> <p>Dependiendo del tipo de suspensión es la capacidad de carga.</p>              |

Fuente: (Díaz, 2008, p. 18).






### 2.4.2 Criterio de diseño y selección de socket

Actualmente existen varios tipos de socket para miembro superior considerando a la ergonomía del paciente como factor principal. Para asegurar la fijación del muñón a la prótesis, se puede elegir un socket que utilice un mecanismo de succión. Sin embargo, debido a las propiedades del material de impresión y a la fricción del polímero con la piel, puede ser necesario utilizar un liner para proporcionar mayor comodidad y seguridad al usuario (Zhindón, 2022, pp. 42-43).

### 2.4.3 Tipos de suspensión

Existen de varios tipos que se detalla en la tabla 4-2 incluyendo las ventajas y desventajas

**Tabla 4-2:** Tipos de suspensión

| Tipo   | Descripción   | Ventajas  | Desventajas  |
|--|---|---|--|
| <p>Sistema de arnés con correas</p>  <p><b>Ilustración 13-2:</b> Arnés</p> <p>Fuente: (Díaz, 2008, p. 19).</p>                              | <p>Son correas que están sujetas tanto al socket, como a un arnés.</p>  | <p>Alta capacidad de carga.</p> <p>No depende del tamaño del muñón</p>  | <p>Incómodo de poner y quitar</p> <p>Falta de estética</p> <p>Sudoración en el muñón y donde se coloca el arnés</p>                                    |
| <p>Auto suspensión</p>  <p><b>Ilustración 14-2:</b> Auto suspensión</p> <p>Fuente: (Díaz, 2008, p. 19).</p>                                 | <p>El socket se moldea en base a la anatomía del muñón</p>  | <p>Cómodo</p> <p>Buena distribución de los esfuerzos en el muñón</p> <p>Tiene buena estética</p>  | <p>Es inútil cuando el volumen del muñón cambia</p> <p>Problemas dermatológicos</p>  |
| <p>Succión</p>  <p><b>Ilustración 15-2:</b> Succión</p> <p>Fuente: (Díaz, 2008, p. 19)</p>   | <p>Consta una funda plástica que está en contacto directo con la piel para hacer vacío.</p>   | <p>Fácil de poner</p> <p>Buena estética</p> <p>Buena transferencia de energía del muñón a la prótesis</p> <p>Se adapta al volumen del muñón</p> | <p>Puede provocar irritaciones</p> <p>Problemas para mantener fijo el socket cuando se mueve el muñón.</p>   |
| <p>Fundas de silicona con mecanismos de cierre</p>  <p><b>Ilustración 16-2:</b> Fundas de silicona</p> <p>Fuente: (Díaz, 2008, p. 19)</p> | <p>El sistema consta de una funda de silicona que está en contacto con la piel, dicha funda se sujeta a la parte rígida del socket.</p> | <p>Fácil de poner</p> <p>Buena estética</p> <p>Buena transferencia de energía a la prótesis.</p> <p>Cómodo</p>                                  | <p>Puede provocar hongos si no se lleva un cuidado adecuado</p> <p>Retención de calor en el muñón</p> <p>Se necesita un volumen de muñón constante</p> |
| <p>Vendas elásticas externas</p>  <p><b>Ilustración 17-2:</b> Vendas elásticas</p> <p>Fuente: (Díaz, 2008, p. 20)</p>                     | <p>Consta de unas vendas elásticas que se ponen sobre el muñón.</p>   | <p>Fácil de poner</p>   | <p>Retención de calor en el muñón.</p> <p>Si no se tiene un correcto aseo puede causar hongos.</p>   |

Fuente: (Díaz, 2008, pp. 19-20)

## 2.5 Manufactura aditiva

Es la producción de piezas sean estas mecánicas, médicas, artísticas o de otro tipo mediante la impresión sucesiva de capas del material. Este proceso permite imprimir piezas con diferentes formas, texturas y materiales. Comprende tres etapas: preparación de datos, la construcción capa por capa del objeto y el post procesamiento del elemento. La fabricación del elemento puede ser en: plástico, fibra de carbono, resina, metal o varios si así se quiere. Las técnicas comercialmente más importantes incluyen Fused Deposition Modelling (Anderl et al., 2017, p. 9).

La fabricación aditiva consiste en la toma de información de un archivo (CAD) que luego se convierte en un archivo (STL). En este proceso, modelado CAD se aproxima mediante triángulos y licencias que contienen la información de cada capa que se va a imprimir. Hay una amplia gama de procesos de fabricación aditiva, por ende, su aplicación es muy extensa. La industria aeroespacial emplea este proceso para fabricar estructuras más ligeras. En la medicina se está utilizando para la fabricación de prótesis y suplantación de huesos fracturados. Sin embargo, antes de realizar cualquier elemento sometido a esfuerzos o biocompatibles se debe realizar una amplia investigación para evitar accidentes irreversibles (Wong y Hernandez, 2012, pp. 1-3).

### 2.5.1 Clasificación

Existen varias tecnologías y procesos usados en la actualidad para la fabricación como se muestra en la tabla:

**Tabla 5-2:** Clasificación según la tecnología

| Tecnologías                   | Procesos  |
|-------------------------------|---|
| Fotopolimerización            | Estereolitografía (SLA)                         |
|                               | Procesamiento Digital por Luz (DLP)             |
| Fusión de lecho de polvo      | Fusión por haz de electrones (EBM)              |
|                               | Sinterización selectiva por láser (SLS)         |
|                               | Sinterización selectiva por calor (SIS)         |
|                               | Fusión selectiva por láser (SLM)                |
|                               | Sinterización de metal directa por láser (DMLS) |
| Laminación de hojas           | Laminated Object Manufacturing (LOM)            |
|                               | Ultrasonic Consolidation (UC)                   |
| Deposición directa de energía | Laser Metal Deposition (LMD)                    |
| Inyección de aglutinante      | Powder Bed and Inkjet Head (PBIIH)              |
|                               | Plaster based 3D Printing (PP)                  |
| Inyección de material         | Modelado de Inyección Múltiple (MIM)            |
| Extrusión de material         | Modelado por Deposición Fundida (FDM)           |

Fuente: (Rouf et al., 2022)

### 2.5.2 Modelado por deposición fundida

Es uno de los procesos de impresión en 3D correspondiente a la gama de manufactura aditiva mejor conocida (Fused Deposition Modeling), inventada y patentada en 1989 (Cano y Serrano, 2021).

Esta tecnología impresiona debido a que en tan corto tiempo se puede llegar a obtener prototipos y productos muy beneficiosos. Incorporar la tecnología de impresión 3D en la sociedad puede ser provechoso, sin embargo, se requiere de una capacidad de diseño media y análisis crítico (Cano y Serrano, 2021).

### 2.5.2.1 Etapas principales

El proceso FDM comienza con el CAD del prototipo que se va a imprimir, el archivo debe estar en formato “.stl”. Para el modelado existen varios softwares especializados como son: Inventor, SolidWorks, Recap Photo, Fusion 360. Posteriormente, el archivo “.stl” se procesa en un software especializado configurando de los distintos parámetros de impresión, como velocidad de impresión tamaño de hilo, temperatura de la cama, etc. El resultado que se obtiene es un archivo con formato “.gcode”. En la siguiente ilustración, se muestra un resumen del proceso de impresión 3D por FDM (Cano y Serrano, 2021).

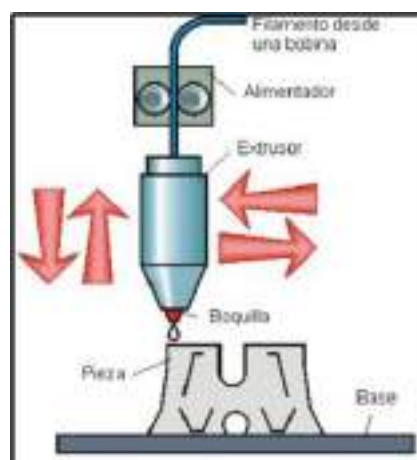


**Ilustración 18-2:** Etapas principales del proceso de impresión 3D por FDM

Fuente: (Cano y Serrano, 2021)

### 2.5.2.2 Funcionamiento

El funcionamiento consiste en que el filamento de polímero se sobrepone capa por capa. El material polimérico se encuentra en forma de hilo en una bobina que a su vez va pasando por el extrusor siendo halado por el alimentador, cuando dicho filamento llega a su punto de fusión, el extrusor se desplaza según el .gcode generado mediante los ejes de referencia X, Y, Z dando así forma a cada una de las capas. En resumen, el extrusor calienta al filamento para dar forma a la pieza diseñada en el modelado CAD (Cano y Serrano, 2021).



**Ilustración 19-2:** Esquema funcional de impresión 3D por FDM

Fuente: (Cano y Serrano, 2021)

### 2.5.2.3 Material

Los materiales candidatos para la impresión 3D usada en la actualidad para las prótesis específicamente, se tratan de filamentos, los cuales deben ser rígido y flexible. Los polímeros cumplen con estas características, pero al tener una amplia gama en la siguiente tabla se muestra de forma resumida las características con sus respectivas propiedades

**Tabla 6-2: Materiales aptos para impresión 3D**

| Acrónimo | Nombre Completo                                 | Propiedades mecánicas según proveedor   | Propiedades de toxicidad   |  |                      |                       |
|----------|---|---|--|--|----------------------|-----------------------|
|          |   |   | Nombre y Afección  | Clasificación  | VLEP                 | VLECP                 |
| ABS      | Acilonitrilo, polímero con Butadieno y Estireno | Módulo de elasticidad a la tracción: 2030 [Mpa]<br>Esfuerzo de tracción a la deformación: 43.6 [Mpa]                | Acilonitrilo: Daño a sistema nervioso central; irritación del tracto respiratorio inferior                     | A3 (cancerígeno animal)<br>TWA (piel)  | 2 ppm                |                       |
|          |   |   | Butadieno: Cáncerígeno   | A2 (sospechoso cancerígeno humano)   | 2 ppm                |                       |
|          |   |   | Estireno: Neuropatía periférica, irritación del tracto respiratorio superior, daño a sistema nervioso central. | A4 (no clasificado como cancerígeno humano)<br>IBE ( índice biológico de exposición) | 20 ppm               | 40 ppm                |
| PLA      | Ácido Poli Láctico                              | Módulo de elasticidad a la tracción: 2036.5 [Mpa]<br>Esfuerzo de tracción a la deformación: 49.5 [Mpa]              | EL ácido Láctico no es tóxico  |  |                      |                       |
| PA6      | Poli Caprolactama                               | Módulo de elasticidad a la tracción: 2232 [Mpa] (eje XZ)<br>Resistencia a la rotura - tracción: 49.3 [Mpa] (eje XZ) | Caprolactama. Irritación del tracto respiratorio superior.   | A5: no sospechoso de ser cancerígeno humano  | 10 mg/m <sup>3</sup> | 40 mg/m <sup>3</sup>  |
| PA12     | Poli Lauroactama                                | Módulo de elasticidad a la tracción: 1282 [Mpa] (eje XZ)<br>Resistencia a la rotura - tracción: 32 [Mpa] (eje XZ)   | Lauroactama: No presenta riesgos al tener contacto con alimentos   |  |                      |                       |
| PVA      | Alcohol de Polivinilo                           | Módulo de elasticidad a la tracción: 3860 [Mpa]<br>Resistencia a la rotura - tracción: 78 [Mpa]                     | Alcohol de vinilo: Se puede usar en contacto con alimentos sin que estén mojados                               |  |                      |                       |
| PC       | Policarbonato                                   | Módulo de elasticidad a la tracción: 2134 [Mpa]<br>Resistencia a la rotura - tracción: 76.4 [Mpa]                   | Carbonato: Se puede usar en contacto con alimentos con restricciones   |  |                      |                       |
| HDPE     | Polietileno de alta densidad                    | Esfuerzo de tracción a la deformación: 26 [Mpa]   | Etileno: Asfixia   | A4: no clasificado de ser cancerígeno humano   | 200 ppm              |                       |
| PEI      | Poli Etilenimina                                | Módulo de elasticidad a la tracción: 2710 [Mpa]<br>Resistencia a la rotura - tracción: 62 [Mpa]                     | Etilenimina: Irritación del tracto respiratorio superior, daño a hígado y riñón                                | A3 (cancerígeno animal)<br>TWA (piel)  | 0.05 ppm             | 0.1 ppm               |
| ASA      | Acilonitrilo - Estireno - Acrilato Copolímero   | Módulo de elasticidad a la tracción: 2100 [Mpa]<br>Esfuerzo de tracción a la rotura: 55 [Mpa]                       | Acilonitrilo: Daño a sistema nervioso central; irritación del tracto respiratorio inferior                     | A3 (cancerígeno animal)<br>TWA (piel)  | 2 ppm                |                       |
|          |   |   | Estireno: Neuropatía periférica, irritación del tracto respiratorio superior, daño a sistema nervioso central. | A4 (no clasificado como cancerígeno humano)<br>IBE ( índice biológico de exposición) | 20 ppm               | 40 ppm                |
|          |   |   | Acrilato de butilo: Irritación del tracto respiratorio superior, ojos y piel                                   | A4 (no clasificado como cancerígeno humano)<br>SEN                                   | 2 ppm                |                       |
| PSU      | Poli fenilsulfona                               | Módulo de elasticidad a la tracción: 2310 [Mpa]<br>Resistencia a la rotura - tracción: 55 [Mpa]                     | Fenilsulfona: No es tóxico   |  |                      |                       |
| PET      | Polietileno Tereftalato                         | Módulo de elasticidad a la tracción: 2264 [Mpa]<br>Resistencia a la rotura - tracción: 40.9 [Mpa]                   | Ácido tereftálico: irritación de tracto respiratorio superior, ojos y piel.                                    |  | 10 mg/m <sup>3</sup> |                       |
|          |   |   | Etilenglicol: Irritación del tracto respiratorio superior y ojos.  | A4 (no clasificado como cancerígeno humano)  |                      | 100 mg/m <sup>3</sup> |
| TPU      | Poli fenilsulfona                               | Módulo de elasticidad a la tracción: 36 [Mpa]<br>Resistencia a la rotura - tracción: 39 [Mpa]                       | Uretano: Seguro de usarse bajo ciertas condiciones   |  |                      |                       |

Fuente: (Salazar, 2019, p. 32)

Analizando cada una de las propiedades dentro de la gama de polímeros presentada en la tabla anterior, se procede al análisis de las propiedades más a fondo del PLA por ser un material rígido mientras que el TPU por ser un material flexible.

Las propiedades que poseen cada uno de los materiales se describen en las siguientes tablas:

**Tabla 7-2:** Propiedades del PLA

| Propiedades mecánicas   | Impresión 3D          |                     |
|---|-----------------------|---------------------|
|   | Valor típico          | Método de ensayo    |
| Módulo de elasticidad a la tracción                           | 2346,5 MPa            | ISO 527 (1 mm/min)  |
| Esfuerzo de tracción a la deformación                         | 49,5 MPa              | ISO 527 (50 mm/min) |
| Esfuerzo de tracción a la rotura                              | 45,6 MPa              | ISO 527 (50 mm/min) |
| Alargamiento a la deformación                                 | 3,3%                  | ISO 527 (50 mm/min) |
| Alargamiento a la rotura                                      | 5,2%                  | ISO 527 (50 mm/min) |
| Resistencia a la flexión                                      | 103,0 MPa             | ISO 178             |
| Módulo de flexión   | 3150,0 MPa            | ISO 178             |
| Resistencia a la prueba de impacto Izod, con mella (a 23°C)   | 5,1 KJ/m <sup>2</sup> | ISO 180             |
| Resistencia a la prueba de impacto Charpy, con mella (a 23°C) | -                     | -                   |
| Dureza  | 83 (Shore D)          | Durómetro           |

Fuente: (Larriba, 2020)

**Tabla 8-2:** Propiedades del TPU

| Propiedades mecánicas   | Impresión 3D           |                  |
|---|------------------------|------------------|
|   | Valor típico           | Método de ensayo |
| Módulo de elasticidad a la tracción                           | 26,0 MPa               | ASTM D638        |
| Esfuerzo de tracción a la deformación                         | 8,6 MPa                | ASTM D638        |
| Esfuerzo de tracción a la rotura                              | 39,0 MPa               | ASTM D638        |
| Alargamiento a la deformación                                 | 55%                    | ASTM D638        |
| Alargamiento a la rotura                                      | 580,0%                 | ASTM D638        |
| Resistencia a la flexión                                      | 4,3 MPa                | ISO 178          |
| Módulo de flexión   | 78,7 MPa               | ISO 178          |
| Resistencia a la prueba de impacto Izod, con mella (a 23°C)   | 34,4 KJ/m <sup>2</sup> | ISO 180          |
| Resistencia a la prueba de impacto Charpy, con mella (a 23°C) | -                      | -                |
| Dureza  | 95 (Shore A)           | ASTM D2240       |
|   | 46 (Shore D)           | Durómetro        |

Fuente: (Larriba, 2020)



Para un sistema de retorno mediante elemento flexible, el material adecuado que cumplió con la funcionalidad de ubicar los dedos de la mano a su posición inicial fue el elastano. Mediante estudios, un elastano es un polímero sintético que pertenece a la clase de los elastómeros. Los elastómeros son polímeros que tienen propiedades elásticas similares al caucho natural y se caracterizan por su capacidad para estirarse y recuperar su forma original sin deformarse permanentemente.

Poseen las siguientes características y propiedades que se detallan en las tablas:

**Tabla 9-2:** Características del elastano

| Caraterísticas   |
|--|
| Se puede estirar de 400% hasta un 800% sin que se deforme y vuelva a su posición original. |
| La densidad de las fibras de elastano es de 1.2 a 1.4 g/cm <sup>3</sup>                    |
| Se produce en gran variedad de títulos que van desde el 8 hasta 2.500 dtex                 |
| Se puede estirar gran número de veces y éste volverá a tomar su forma original.            |
| Ligero, suave, liso y flexible.  |
| Resistente al sudor, lociones y detergentes  |
| No existe problema de electricidad estática.   |
| Es un falso filamento  |
| Los filamentos están unidos por coalescencia   |

Fuente: (Haro, 2011)

**Tabla 10-2:** Propiedades del elastano

| Propiedades  |  |
|--|--|
| Físicas  | Químicas   |
| Se produce para comercializar con lustres mate, brillante y transparente     | El punto de fusión está en los 230°C                   |
| Tiene una tenacidad que va de 0.64 a 0.91 gr/dtex                            | Tiene una relativa afinidad para la tintura            |
| La elongación a la rotura 0.19%, es excelente.                               | Se reblandece entre los 150 y 200°C.                   |
| Una recuperación del 95%.  | Se funde entre los 230 y 290 °C                        |
| Temperatura de ablandamiento de 175°C  | Son generalmente resistentes a los álcalis             |
| La forma de la sección transversal, puede ser redonda, lobulada o irregular. | Resisten bien la acción de los ácidos diluidos en frío |

Fuente: (Haro, 2011)

#### 2.5.2.4 *Escaneo*

Un escáner 3D es un dispositivo que analiza un objeto obteniendo su forma mediante nube de puntos. Los datos que se obtienen son usados para recrear un escenario de manera digital, planos bidimensionales o tridimensionales, esto se logra con la ayuda de softwares especializados en la digitalización de nube de puntos (Cajas, 2016).

El objetivo de un escáner 3D es recrear la nube de puntos de la geometría que se quiera, esto en forma de superficie. Dependiendo del tipo de escáner, un único barrido no basta para obtener la información completa, es por ello por lo que se requieren exploraciones múltiples. Todos estos análisis tienen que ser importados en un mismo sistema de referencia, este proceso es conocido como alineación o registro creando así un modelo óptimo (Cajas, 2016).

## 2.6 **Método elementos finitos**

### 2.6.1 *Definición*

Antes del surgimiento del método del elemento finito, el análisis de medios continuos se realizaba por resolución directa de los sistemas de ecuaciones en derivadas parciales que gobiernan el fenómeno, teniendo en cuenta las condiciones de contorno necesarias. Para facilitar la aplicación de esta técnica a problemas no elementales, era habitual recurrir a las series de Fourier. Debido a su complejidad, estos procedimientos sólo eran aplicables a medios continuos homogéneos con geometría simple. Para tratar de superar algunas de estas limitaciones, era común reemplazar las derivadas exactas por derivadas aproximadas, calculadas a partir de cuadrículas de puntos. La aplicación de esta técnica da como resultado el método de diferencias finitas, sin embargo, tenía el inconveniente en la resolución de grandes sistemas de ecuaciones lineales (Azevedo, 2003, p. 19).

Una descripción poco sofisticada del método de elementos finitos es la que envuelve el que una estructura es fragmentada en muchos elementos o piezas de la estructura, describiendo el comportamiento de cada elemento en una forma simple y luego reconectando dichos elementos mediante nodos como si estos últimos fueran alfileres o núcleos de pegamento que mantienen los elementos juntos. Este proceso da como resultado un conjunto de ecuaciones algebraicas simultáneas. Por ejemplo, en el análisis de esfuerzo estas ecuaciones son ecuaciones de equilibrio de fuerzas, en el análisis térmico son ecuaciones de balance de energía, dichas ecuaciones se plantean en los nodos. Debido a que mientras mayor sea el número de nodos mayor será la exactitud de las soluciones, se hace ineludible la implementación de un computador (Guallichico y Macas, 2010, pp. 22-23).

### 2.6.2 *Descripción del MEF*

El método de los elementos finitos es un método de aproximación de problemas continuos, de tal forma que (Frías, 2004):

- El medio continuo se divide en un número finito de elementos, cuyo comportamiento es especificado mediante un número finito de parámetros asociados a ciertos puntos



característicos denominados “nodos”. Los nodos son puntos de unión de cada elemento con sus contiguos (Frías, 2004).

- La solución del sistema completo sigue las reglas de los problemas discretos. El sistema completo se forma por ensamblaje de los elementos (Frías, 2004).
- Las incógnitas del problema dejan de ser funciones matemáticas y pasan a ser el valor de estas funciones en los nodos (Frías, 2004).
- El comportamiento en el interior de cada elemento queda definido a partir del comportamiento de los nodos mediante las adecuadas funciones de interpolación o funciones de forma (Frías, 2004).

Por lo tanto, el método de elementos finitos es la transformación de un cuerpo de naturaleza continua en un modelo discreto aproximado, esta transformación se denomina discretización del modelo. El conocimiento de lo que sucede en el interior de este modelo del cuerpo aproximado y se obtiene mediante la interpolación de los valores conocidos en los nodos. Es por tanto una aproximación de los valores de una función a partir del conocimiento de un número determinado y finito de puntos (Frías, 2004).

### **2.6.3 Descripción de discretización de un medio continuo**

El método se basa en dividir el cuerpo, estructura o dominio (medio continuo) sobre el que están definidas ciertas ecuaciones integrales que caracterizan el comportamiento físico del problema en una serie de subdominios no intersecantes entre sí denominados “elementos finitos”. El conjunto de elementos finitos forma una partición del dominio también denominada discretización. Dentro de cada elemento se distinguen una serie de puntos representativos llamados nodos. Dos nodos son adyacentes si pertenecen al mismo elemento finito; además, un nodo sobre la frontera de un elemento finito puede pertenecer a varios elementos. El conjunto de nodos considerando sus relaciones de adyacencia se denomina malla. Los cálculos se realizan sobre una malla o discretización creada a partir del dominio con programas especiales llamados generadores de mallas, en una etapa previa a los cálculos que se denomina preproceso. De acuerdo con estas relaciones de adyacencia o conectividad se relaciona el valor de un conjunto de variables incógnitas definidas en cada nodo y denominadas grados de libertad. El conjunto de relaciones entre el valor de una determinada variable entre los nodos se puede escribir en forma de sistema de ecuaciones lineales o linealizadas. La matriz de dicho sistema de ecuaciones se llama matriz de rigidez del sistema. El número de ecuaciones de dicho sistema es proporcional al número de nodos (Ochoa, Vivas y Santafé Elkin, 2009).

### **2.6.4 Procesamiento general del método de elementos finitos**

En la generación de un modelado por elementos finitos, siempre se tiene presente que se está desarrollando un modelo el cual es una idealización de un sistema físico real, el mismo que puede ser desarrollado mediante una sustitución matemática o un procedimiento analítico. Los pasos formulados para el análisis por elementos finitos de un problema físico son comunes en diferentes

campos ya sea en el análisis de esfuerzos mecánicos, transferencia de calor, flujo de fluidos, y otros. Estos pasos están incluidos en todos los paquetes de software basados en elementos finitos (Guallichico y Macas, 2010). El procedimiento general del MEF se basa en preprocesamiento, procesamiento y post procesamiento.

#### 2.6.4.1 *Preprocesamiento*

En este se describe el problema y se define el modelo, incluyendo (Guallichico y Macas, 2010):

- Definición del dominio geométrico del problema.
- Definición del tipo del elemento a ser usado.
- Definición de las propiedades del material de los elementos.
- Definición de las propiedades geométricas de los elementos (longitud, área, etc.).
- Definición de conectividades de los elementos (mallado del modelo).
- Definición de las restricciones físicas (condiciones de borde).
- Definición de las cargas (puntales, lineales o superficiales).

El preprocesamiento es un paso crítico. En ningún caso se debe introducir información incorrecta o inapropiada, ya que los resultados obtenidos serían erróneos. Una solución por elementos finitos perfectamente calculada no es posible, si los valores de entrada corresponden a un problema mal planteado (Guallichico y Macas, 2010, pp. 37-39)

#### 2.6.4.2 *Procesamiento*

Durante la fase de solución, el software de elementos finitos congrega las ecuaciones algebraicas gobernantes en forma matricial y calcula los valores desconocidos de las variables del campo primarias. Una vez obtenidos los valores anteriores, se usan entonces para calcular por sustitución variables adicionales, variables secundarias como fuerzas de la reacción, esfuerzos, y flujo de calor. Comúnmente un modelo de elementos finitos se representa por decenas de miles de ecuaciones, se usan técnicas de solución especiales que reducen los requisitos de almacenamiento de datos y tiempo de cálculo (Guallichico y Macas, 2010, pp. 37-39)

#### 2.6.4.3 *Post procesamiento*

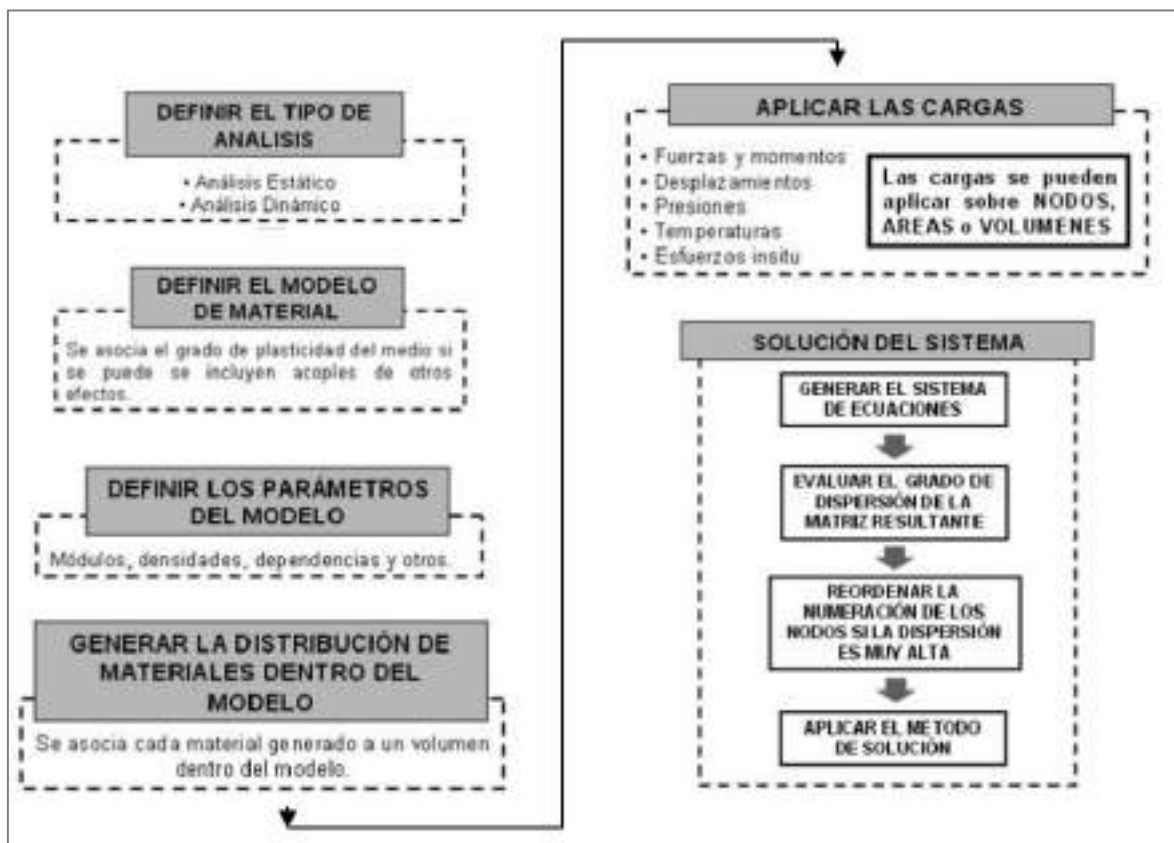
El post procesamiento se refiere al análisis y evaluación de los resultados obtenidos. El software para post procesamiento contiene rutinas sofisticadas usadas para ordenar, imprimir, y trazar los resultados seleccionados de una solución por elementos finitos. Los ejemplos de operación que pueden lograrse incluyen (Guallichico y Macas, 2010, pp. 37-39).

Información de esfuerzos en orden de magnitud se da en el siguiente orden:

- Verificar el equilibrio.
- Calcular los factores de seguridad.
- Graficar deformaciones.

- Animaciones dinámicas del comportamiento del elemento.

Representación de temperaturas mediante un código de colores. Pueden manipularse los datos de la solución de muchas maneras en el post procesamiento, pero el objetivo más importante es aplicar el juicio de la ingeniería para determinar si los resultados de la solución son físicamente razonables. En conclusión, el procedimiento general del MEF puede ser visto como un conjunto de operaciones de las cuales el buen desempeño y respuesta de una sea consecuencia directa de cuán bien elaborada sea la anterior operación, así un análisis mediante MEF puede ser esquematizado a través de un diagrama de bloques, en el cual se puede palpar dicha dependencia de desempeño a través de los lazos de retroalimentación en ciertas etapas del análisis como son por ejemplo la evaluación de la exactitud de los resultados obtenidos y de su interpretación (Guallichico y Macas, 2010, pp. 37-39).



**Ilustración 20-2:** Metodología MEF para esfuerzos y deformaciones.

Fuente: (Ochoa et al., 2009)

### 2.6.5 Hipótesis y tipos de discretización

En una estructura discreta su deformación viene definida por un número finito de parámetros (deformaciones y/o giros) que juntos conforman el vector de deformaciones  $\Delta$ , y la estructura tiene tantas formas de deformarse como términos tenga dicho vector. Un medio continuo tiene infinitas formas posibles de deformarse, independientes unas de otras, y a que cada punto puede desplazarse manteniendo fijos cualquier número finito de los puntos restantes, por grande que sea este último.

Por lo tanto, la configuración deformada de la estructura no puede venir dada por un vector finito  $\Delta$  como el anterior, sino que es una función vectorial  $\mathbf{u}$ , que indica cuáles son las deformaciones de cualquier punto, y que tiene tres componentes escalares (Celigieta, 2011, pp. 13-14):

$$\mathbf{u} = \begin{pmatrix} u(x, y, z) \\ v(x, y, z) \\ w(x, y, z) \end{pmatrix}$$

Esta función es la solución de la ecuación diferencial que gobierna el problema, y si éste está bien planteado, cumplirá las condiciones de contorno impuestas, pero en principio no puede asegurarse que esta función  $\mathbf{u}$  tenga una expresión analítica manejable, ni siquiera que pueda calcularse. Por lo tanto, la función  $\mathbf{u}$  no podrá conocerse en general (Celigieta, 2011, pp. 13-14).

Para resolver este problema, el Método de los Elementos Finitos recurre a la hipótesis de discretización, que se basa en lo siguiente (Celigieta, 2011, pp. 13-14):

- El continuo se divide por medio de líneas o superficies imaginarias en una serie de regiones contiguas y disjuntas entre sí, de formas geométricas sencillas y normalizadas, llamadas elementos finitos.
- Los elementos finitos se unen entre sí en un número finito de puntos, llamados nudos.
- Los desplazamientos de los nudos son las incógnitas básicas del problema, y éstos determinan unívocamente la configuración deformada de la estructura. Sólo estos desplazamientos nodales se consideran independientes.
- El desplazamiento de un punto cualquiera viene unívocamente determinado por los desplazamientos de los nudos del elemento al que pertenece el punto. Para ello se definen para cada elemento, unas funciones de interpolación que permiten calcular el valor de cualquier desplazamiento interior por interpolación de los desplazamientos nodales. Estas funciones de interpolación serán de tal naturaleza que se garantice la compatibilidad de deformaciones necesaria en los contornos de unión entre los elementos.
- Las funciones de interpolación y los desplazamientos nodales definen unívocamente el estado de deformaciones unitarias en el interior del elemento. Éstas, mediante las ecuaciones constitutivas del material definen el estado de tensiones en el elemento y por supuesto en sus bordes.
- Para cada elemento, existe un sistema de fuerzas concentradas en los nudos, que equilibran a las tensiones existentes en el contorno del elemento, y a las fuerzas exteriores sobre él actuantes.
- La función solución es aproximada dentro de cada elemento, apoyándose en un número finito (y pequeño) de parámetros, que son los valores de dicha función en los nudos que configuran el elemento y a veces sus derivadas.

Estas hipótesis de discretización son el pilar básico del MEF, por lo que se suele decir de éste, que es un método discretizante, de parámetros distribuidos. La aproximación aquí indicada se conoce como la formulación en desplazamiento (Celigieta, 2011, pp. 13-14).

El proceso de discretización descrito tiene una justificación intuitiva, pero lo que de hecho se sugiere es la minimización de la energía potencial total del sistema, para un campo de deformaciones definido por el tipo de elemento utilizado en la discretización (Celigieta, 2011, pp. 13-14).

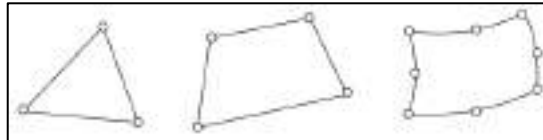
### 2.6.5.1 Elementos de discretización.

A continuación, se presenta algunos de los elementos de discretización más importantes:



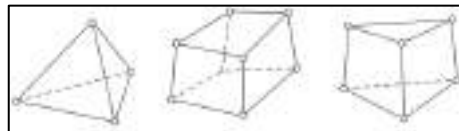
**Ilustración 21-2:** Elemento de discretización unidimensional.

Fuente: (Celigieta, 2011)



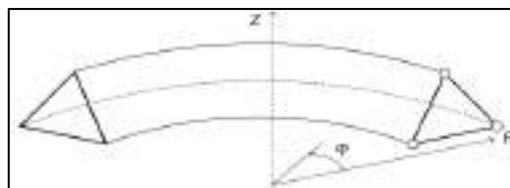
**Ilustración 22-2:** Elemento de discretización bidimensional.

Fuente: (Celigieta, 2011)



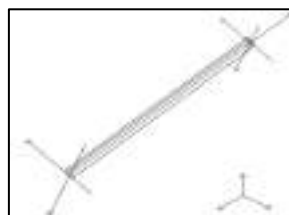
**Ilustración 23-2:** Elemento de discretización tridimensional.

Fuente: (Celigieta, 2011)



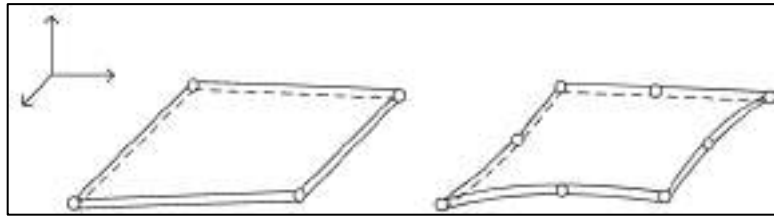
**Ilustración 24-2:** Elemento de discretización axisimétrico.

Fuente: (Celigieta, 2011)



**Ilustración 25-2:** Elemento de discretización para vigas.

Fuente: (Celigieta, 2011)



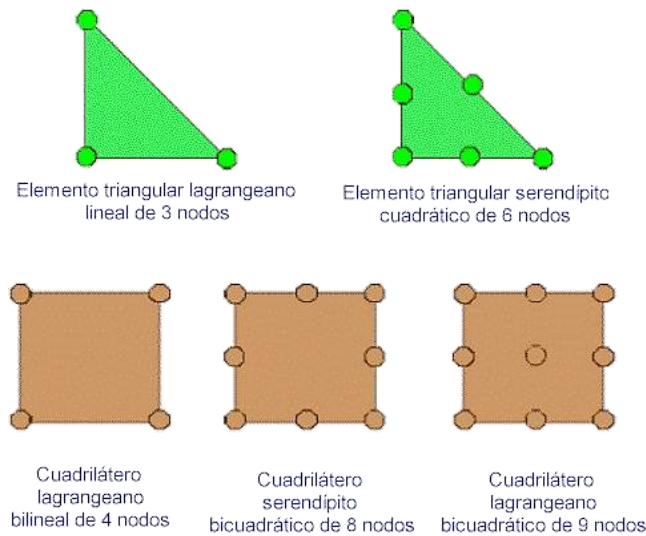
**Ilustración 26-2:** Elemento de discretización para placas planas.

Fuente: (Celigueta, 2011)

### 2.6.6 Tipo de elemento finito

Dentro de las librerías del software se encuentra una gran variedad de tipos de elementos uni, bi y tridimensionales, con los cuales simulamos barras, vigas, cáscaras, placas, y elementos sólidos, etc (Medina et al., 2005).

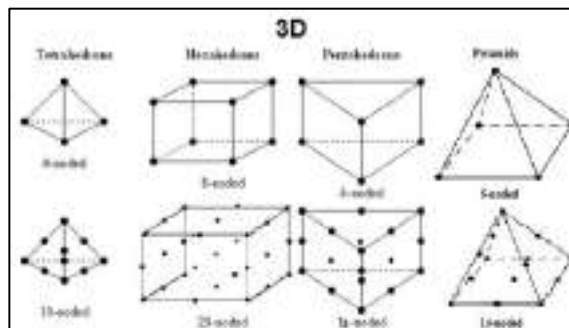
Para mallado bidimensionales son las siguientes:



**Ilustración 27-2:** Tipos de elementos para mallado 2D.

Fuente: (Gómez, 2017, pp. 50-53)

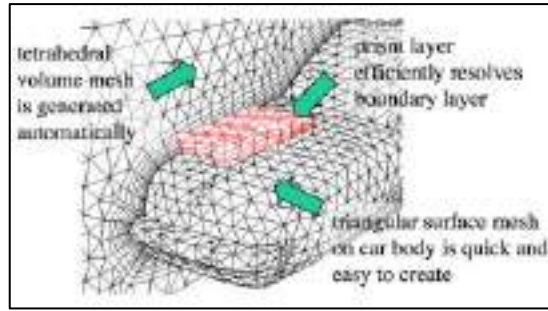
Para mallado tridimensionales son las siguientes:



**Ilustración 28-2:** Tipos de elementos para mallado 3D.

Fuente: (Gómez, 2017, pp. 50-53).

Además, en un mismo sólido puede contener una malla compuesta, es decir, en cada superficie puede contener diferente tipo de mallado.



**Ilustración 29-2:** Malla compuesta.

Fuente: (Vehi, 2016, p. 20)

### 2.6.7 Técnicas de discretización

Métodos de generación de malla estructurada (Díaz, 2000, p. 16):

- Algebraicos.
- Basados en EDPs.
- Superposición-deformación de retícula.
- Crecimiento estructurado.

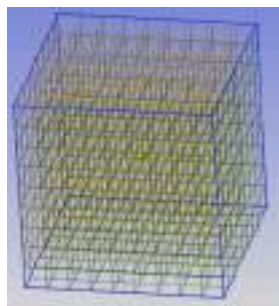
Métodos de generación de malla no estructurada:

- Inserción de nodos y posterior conexión: Delaunay.
- Generación simultánea de nodos y conectividad: Frente de avance.

Métodos Multi bloque o híbridos

#### 2.6.7.1 Malla estructurada

Se entiende toda discretización cuya conectividad sigue un patrón reticular. Por esta razón, en este tipo de mallas se utilizan fundamentalmente elementos cuadriláteros (2D), o hexaédricos (3D), aunque a partir de ellos, como se verá posteriormente, se pueden generar triángulos y tetraedros, respectivamente. La creación de esta retícula impone unas fuertes condiciones sobre el contorno del dominio, por lo que en muchos casos este tipo de discretización no es realizable o, siéndolo, presenta una baja calidad (Díaz, 2000, p. 16).

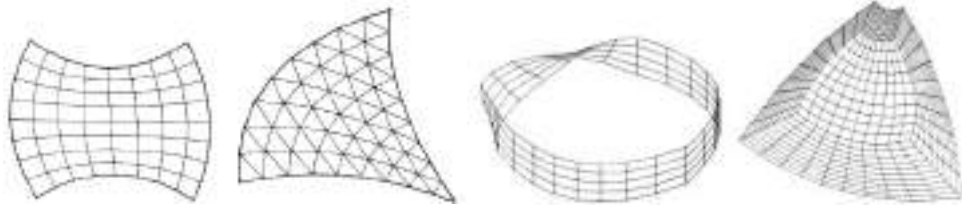


**Ilustración 30-2:** Malla estructurada.

Fuente: (Vehi, 2016, p. 20)

### 2.6.7.2 Método algebraico

Estas técnicas generalmente se aplican sobre geometrías cuadriláteras o hexaédricas, aunque en ocasiones han sido aplicadas en dominios triangulares, tetraédricos o pentaédricos, donde se generan, respectivamente, elementos triangulares, tetraédricos o pentaédricos (Díaz, 2000, p. 16).



**Ilustración 31-2:** Malla generada por método algebraico.

**Fuente:** (Díaz, 2000)

### 2.6.7.3 Malla no estructurada

Es aquella que se caracteriza por una conectividad irregular que no se expresa fácilmente como una matriz de dos o tres dimensiones en la memoria del ordenador. Esto permite cualquier elemento posible que un solver pudiese utilizar. En comparación con las mallas estructuradas, los requisitos de almacenamiento para una malla no estructurada pueden ser sustancialmente mayores puesto que la conectividad vecina debe ser almacenada explícitamente (Díaz, 2000, p. 16).



**Ilustración 32-2:** Malla no estructurada.

**Fuente:** (Vehi, 2016, p. 20)

### 2.6.7.4 Malla híbrida

Es una malla que contiene porciones estructuradas y porciones no estructuradas. Hay desacuerdo en cuanto a la correcta aplicación de los términos "híbrido" y "mixto". El término "mixto" se aplica generalmente a mallas que contienen elementos asociados con mallas estructuradas y elementos asociados con mallas no estructuradas.



**Ilustración 33-2:** Malla híbrida.

**Fuente:** (Díaz, 2000)



## 2.7 Método de elementos finitos en Ansys Workbench

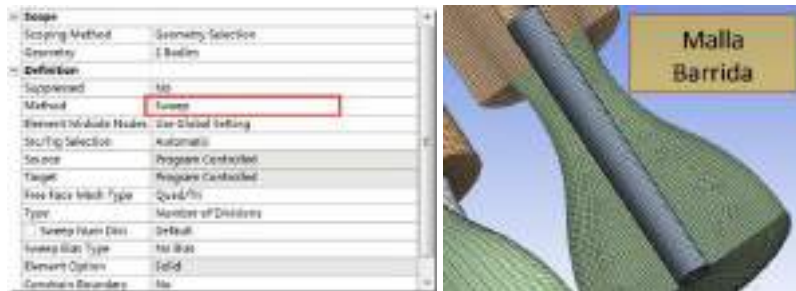
Es un software que aplica elementos finitos para sus cálculos mediante el uso de mallas. Para llevar a cabo una simulación CAE, hay tres pasos importantes para un análisis: preprocesamiento, resolución y post procesamiento. En el paso de preprocesamiento del método de elementos finitos se requiere una malla de buena calidad para representar comportamientos complejos mediante la captura precisa de fenómenos físicos utilizando ecuaciones diferenciales parciales.

### 2.7.1 Tipos de mallas en Ansys Workbench

Una malla se compone de elementos que contienen nodos, es decir, ubicaciones de coordenadas en el espacio que pueden variar según el tipo de elemento y que representan la forma de la geometría, por lo cual, el mallado es el proceso de convertir formas irregulares en volúmenes más reconocibles llamados elementos.

#### 2.7.1.1 Malla de barrido

Utilice el método de barrido para mallas todo el componente que debe tener una forma regular, es decir, solo una única superficie de origen y una superficie de destino.

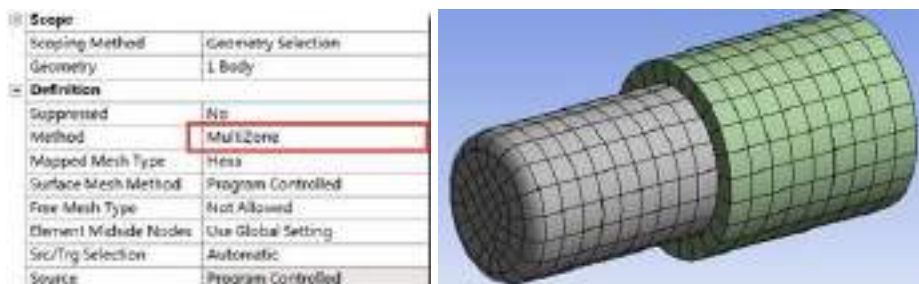


**Ilustración 34-2:** Malla de barrido.

Fuente: (Programador Clic, 2023)

#### 2.7.1.2 Malla de tipo barrido multidominio o multizona

Este tipo de malla divide automáticamente el componente en múltiples áreas regulares y utiliza un mallado de barrido para cada área para obtener una malla hexaédrica muy regular. Este es el método de mallado más adecuado.

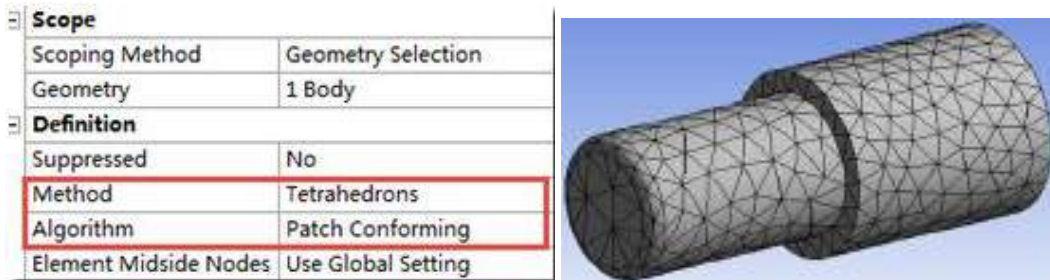


**Ilustración 35-2:** Malla de tipo barrido multidominio.

Fuente: (Programador Clic, 2023)

### 2.7.1.3 Mallado tetraédrico

Utilice mallado tetraédrico y algoritmo de conformación de parches y la cuadrícula es relativamente fina en el chaflán.

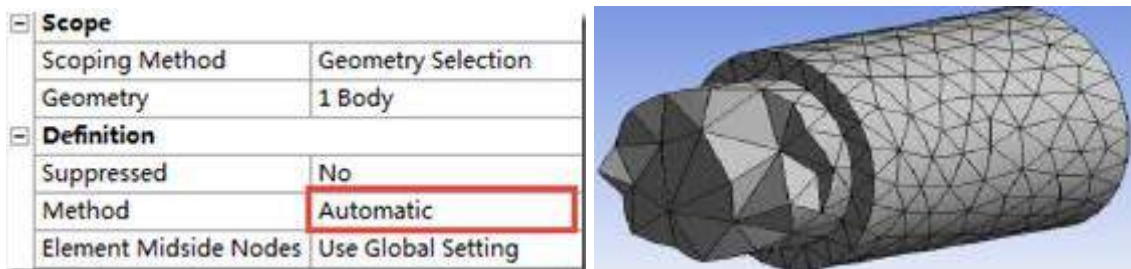


**Ilustración 36-2:** Mallado tetraédrico.

Fuente: (Programador Clic, 2023)

### 2.7.1.4 Mallado automático

En este tipo de malla cambia automáticamente entre la malla tetraédrica y la malla barrida. Cuando es posible barrer, se usa malla de barrido; cuando no se puede usar malla de barrido, se usan tetraedros.



**Ilustración 37-2:** Mallado automático.

Fuente: (Programador Clic, 2023)

### 2.7.1.5 Mallado dominado por hexaedros

En este mallado se utiliza elementos hexaédricos en la superficie y elementos hexaédricos en la mayor medida posible en el interior, cuando no se pueden utilizar elementos hexaédricos, se utilizan elementos tetraédricos para el relleno.



**Ilustración 38-2:** Mallado dominado por hexaedros.

Fuente: (Programador Clic, 2023)

## **2.8 Dinámica de sistemas multicuerpos**

Se basa en la mecánica clásica y analítica mediante el estudio de sistemas de sistemas mecánicos como un análisis de cuerpos rígidos y flexibles, y se aplica a una amplia variedad de sistemas de ingeniería y problemas biomecánicos (Schiehlen, 2007, p. 2).

El elemento más simple de un sistema multicuerpo es una partícula libre introducida por Newton en 1686 en su "Philosophiae Naturalis Principia Mathematica". El elemento esencial, el cuerpo rígido, fue definido en 1776 por Euler en su contribución titulada "Nova methodus motum corporum rigidarum determinandi". Para el modelado de restricciones y uniones, Euler ya usaba el principio de cuerpo libre que resultaba de fuerzas de reacción. Las ecuaciones obtenidas se conocen en dinámica multicuerpo como ecuaciones de Newton-Euler (Schiehlen, 2007, p. 2).

Un sistema de cuerpos rígidos fue considerado en 1743 por d'Alembert en su "Traité de Dynamique" donde distinguía entre componentes de movimiento libres y obstaculizados. D'Alembert aplicó las condiciones de equilibrio a las fuerzas aplicadas y las fuerzas de reacción teniendo en cuenta el principio del trabajo virtual. Una formulación matemática consistente del principio de d'Alembert en donde Lagrange combinó la idea fundamental de d'Alembert con el principio del trabajo virtual. Como resultado, se encuentra un conjunto mínimo de ecuaciones diferenciales ordinarias (EDO) de segundo orden. Un análisis sistemático de los sistemas mecánicos restringidos fue establecido en 1788 por Lagrange, también. El principio variacional aplicado a la energía cinética y potencial total del sistema considerando sus restricciones cinemáticas y las correspondientes coordenadas generalizadas da como resultado las ecuaciones de Lagrange de primera y segunda especie. Las ecuaciones de Lagrange del primer tipo representan un conjunto de ecuaciones algebraicas diferenciales (DAE), mientras que las del segundo tipo conducen a un conjunto mínimo de ecuaciones diferenciales ordinarias (ODE) (Schiehlen, 2007, p. 4).

La dinámica multicuerpo de sistemas avanzados requiere técnicas de modelado adecuadas, solucionadores numéricos fiables para las ecuaciones diferenciales obtenidas y una representación gráfica sofisticada de los resultados que son objeto de optimización. Además, los experimentos pueden ser útiles para la validación final de los resultados obtenidos (Schiehlen, 2007, p. 5).

### **2.8.1 Aplicaciones**

Las librerías para análisis Dynamics System Multibody abarca todo tipo de máquinas tales como, vehículos, robots, máquinas de procesamiento y, actualmente también se está abordando el estudio biomecánico.

- Análisis y optimización de sistemas mecánicos

La gran ventaja de este tipo de softwares es la posibilidad de analizar y mejorar el comportamiento cinético y cinemático de la máquina para reducir costos, para ello es necesario un reconocimiento de las variables de diseño que intervienen en el sistema usando los criterios desarrollados para obtener un modelo matemático que simule el movimiento del cuerpo (Schiehlen, 2007, p. 6).

- Estudio cinemático y cinético de una máquina

Las máquinas realizan un trabajo mediante el mecanismo implementado que a su vez son sistemas multi cuerpo caracterizados la cantidad de restricciones y movimientos no lineales. Además, a menudo los elementos diseñados como sistemas rígidos multi cuerpo ya sean máquinas o mecanismos presentan vibraciones estructurales. Por lo tanto, también deben aplicarse sistemas multi cuerpo flexibles (Schiehlen, 2007, p. 6).

- Dinámica de vehículos (aéreos, terrestres o marítimos)

Un vehículo es un sistema mecánico que es capaz de moverse con la ayuda del motor. Los sistemas terrestres son modelados como un problema de mecánica continua considerando la elasticidad en el en los puntos de contacto a la superficie. Además, los vehículos terrestres alteran su estabilidad por irregularidades laterales y verticales de la guía, lo que debe ser estudiado como proceso estocástico. Los vehículos acuáticos y aéreos se caracterizan por fenómenos multi físicos y están sujetos a problemas de estabilidad, vibracional y térmico (Schiehlen, 2007, p. 6).

- Robots humanoides

Los robots humanoides, son sistemas mecánicos con controladores, en donde la parte mecánica representa un sistema multi cuerpo con cierto grado de libertad. El sistema de control tiene que manejar estos movimientos no lineales. Como principales inconvenientes en los robots está la fricción en las juntas y vibraciones por el tamaño de las piezas. Para el sistema de control, la cinemática inversa es utilizada con mucha frecuencia (Schiehlen, 2007, p. 6).

- Estudio biomecánico

El esqueleto de animales y seres humanos se modela fácilmente como sistemas multi cuerpo. Sin embargo, la representación de los movimientos por músculos es un problema frecuente que debe resolverse mediante enfoques de optimización que utilicen criterios de rendimiento apropiados. Los criterios típicos son el consumo de energía metabólica, la elegancia del movimiento logrado y/o contactos suaves entre los pies y el suelo. Además, caminar significa un número variable de restricciones en el tiempo que se representan más fácilmente mediante ecuaciones algebraicas diferenciales, y se requieren modelos de contacto apropiados para los pies. La identificación de datos

y parámetros también es un problema no trivial ya que los seres vivos no se pueden desmontar como las máquinas (Schiehlen, 2007, p. 6).



**Ilustración 39-2:** Estudio biomecánico.

**Fuente:** (Imbinto et al., 2016)

## 2.9 Software 3D

Un software es un conjunto de programas, instrucciones y reglas informáticas que permiten ejecutar distintas tareas en una computadora con la singularidad de producir gráficos y animaciones 3D. Estos softwares ayudan a visualizar, diseñar y controlar un objeto, dentro de un alcance tridimensional. El software 3D tiene un concepto matemático de geometría donde se mapea el elemento diseñado en tres ejes diferentes: X, Y y Z. El elemento diseñado se puede visualizar en computadoras, sistemas operativos modernos e incluso en dispositivos móviles. Existen una gran variedad de programas de diseño 3D los cuales se lo conoce como programas CAD, pero también permiten realizar análisis cinético y cinemático mediante MBD y FEA complementos que poseen los programas 3D.

### 2.9.1 Tipos de programas 3D

#### 2.9.1.1 Escáner 3D SENSE

El Sense es el escáner 3D de consumo masivo desarrollado en 2013 por la división Cubify de 3D Systems con dimensiones 178x129x330 mm que permite escanear objetos con una precisión de 0,9 mm a 50 cm de distancia (3Dnatives, 2023).

#### 2.9.1.2 Autodesk Recap Photo

ReCap Photo tiene muchas funciones de visualización, edición y exportación de mallas que están disponibles de forma gratuita sin una suscripción. La reconstrucción de fotografías 3D requiere una suscripción a ReCap Pro, pero también existe la licencia estudiantil con duración de 1 año con todas las funciones totalmente habilitadas (Autodesk, 2023).

#### 2.9.1.3 Autodesk Fusion 360

Es una plataforma de software de modelado 3D, CAD, CAM, CAE y PCB basada en la nube para el diseño y la fabricación profesional de productos. Que permite diseñar productos como desee para garantizar la estética, la forma, el ajuste y la función con herramientas integrales de diseño de

electrónica y PCB. La empresa brinda a los estudiantes poseer una licencia educativa con la duración de 1 año (Autodesk, 2023).

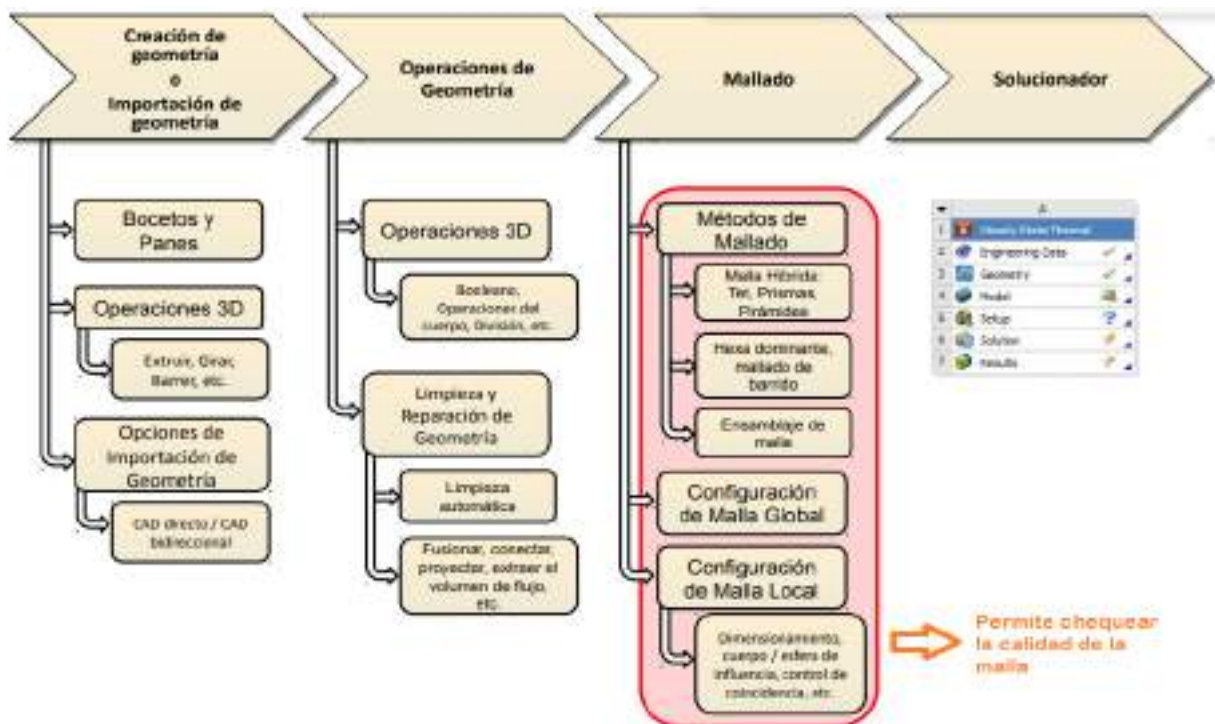
#### 2.9.1.4 SolidWorks

Es un software CAD que se permite desarrollar sistemas mecánicos, eléctricos, electrónicos, mecatrónicos, entre otros de principio a fin de que conlleva a ser muy utilizado por los ingenieros. Al inicio este software se utiliza para la planificación, la ideación visual, el modelado, la evaluación de viabilidad, la creación de prototipos y la gestión de proyectos. Posteriormente, el software se utiliza para el diseño y la construcción de elementos mecánicos, eléctricos y de software. Finalmente, el software se puede utilizar para la gestión, el análisis, la automatización de datos y los servicios en la nube.

#### 2.9.1.5 Ansys Workbench

Es un software de simulación que ayuda al grupo de trabajo a poder tomar decisiones de la forma más inteligente y rápida posible, disminuyendo los costos a la hora de desarrollo del producto, obteniendo una mejora en flujos de trabajo, este tipo de software abarca todas las gamas de la física, lo cual es de vital importancia a la hora de la simulación, cuenta con herramientas en el área de fluidodinámica, análisis estructural, electromagnetismo y multifásica.

El flujo de trabajo para el preprocesamiento es el siguiente:



**Ilustración 40-2:** Flujo de trabajo.

Fuente: (ANSYS, 2015, p. 3)



Mientras que, el proceso de mallado en Ansys Meshing cumple con la siguiente secuencia:



**Ilustración 41-2:** Proceso de mallado.

Fuente: (ANSYS, 2015, p. 16)

Una buena calidad de una malla hace referencia sobre los criterios de calidad se encuentran dentro del rango correcto, la cual, es válida para la física y que los detalles geométricos importantes están bien capturados. Por otro lado, una mala calidad en la malla causa dificultades de convergencia y una mala descripción física.

Por ello, se recomienda generalmente intentar mantener la calidad ortogonal mínima  $> 0,1$

|              |            |            |           |           |           |
|--------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|
|              |            |            |           |           |           |
| Unacceptable | Bad        | Acceptable | Good      | Very good | Excellent |
| 0-0.001      | 0.001-0.14 | 0.15-0.20  | 0.20-0.69 | 0.70-0.95 | 0.95-1.00 |

**Ilustración 42-2:** Calidad de mallado en modo ortogonal.

Fuente: (ANSYS, 2015, p. 14)

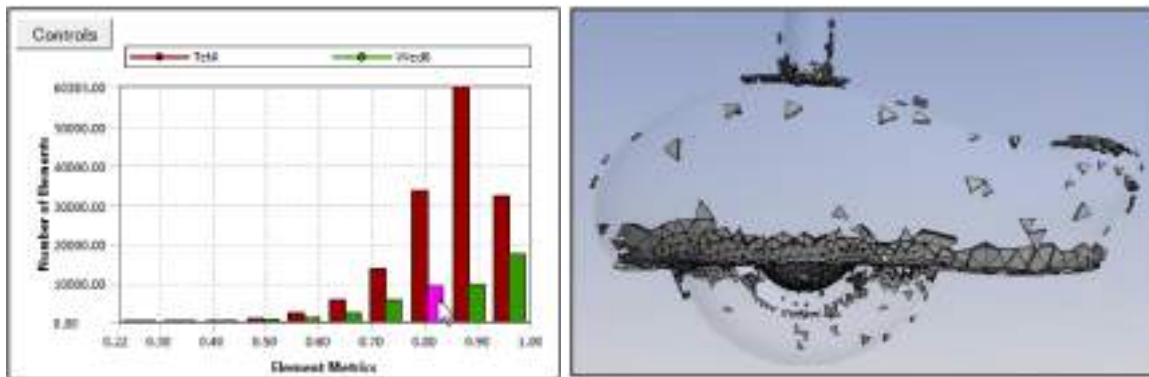
Y para una malla que contiene asimetría máxima  $< 0,95$ .

|           |           |           |            |           |              |
|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|--------------|
|           |           |           |            |           |              |
| Excellent | Very good | Good      | Acceptable | Bad       | Unacceptable |
| 0-0.25    | 0.25-0.50 | 0.50-0.80 | 0.80-0.94  | 0.95-0.97 | 0.98-1.00    |

**Ilustración 43-2:** Calidad de mallado en modo asimétrico.

Fuente: (ANSYS, 2015, p. 14)

Los gráficos métricos de mallas muestran los diferentes tipos de elementos con barras de diferentes colores. Se puede acceder a través de la barra de menú usando el “Botón Gráfico métrico” y el rango del eje. También se puede ajustar usando controles botón, para ello haga clic en las barras para ver los elementos correspondientes en la ventana gráfica permitiendo localizar los elementos de mala calidad.



**Ilustración 44-2:** Diagrama de la calidad de malla.

**Fuente:** (ANSYS, 2015, p. 14)

### 2.9.1.6 Msc Adams

Es un software especializado en el estudio de la dinámica multicuerpos destacado en el campo ingenieril por la simulación cinética-cinemática de los mecanismos, a su vez que disminuye costos en el desarrollo del proyecto ya que permite optimizar el sistema en estudio. MSC Adams evalúa y gestiona interacciones de movimiento como transmisión de fuerza, análisis de vibraciones, etc. y simula el comportamiento del movimiento a su vez que analiza posibles variaciones en el diseño para tener óptimos resultados (MSC Software, 2012, p. 1).

El elemento cable se encuentra dentro del módulo de maquinaria, su estudio se basa en cuerpos flexibles. Dichos elementos están en contacto con poleas, que soporta grandes deformaciones y desplazamientos. Se puede encontrar muchas aplicaciones como transporte terrestre, pesado equipamiento, espacio, ascensor, electrónico, etc. Más allá de su función principal de sujeción, el cable puede ser fuente significativa de estudio dinámico dependiendo de las dimensiones del mismo ya que se puede calcular su inercia, rigidez y deslizamiento (MSC Software, 2012, p. 1).

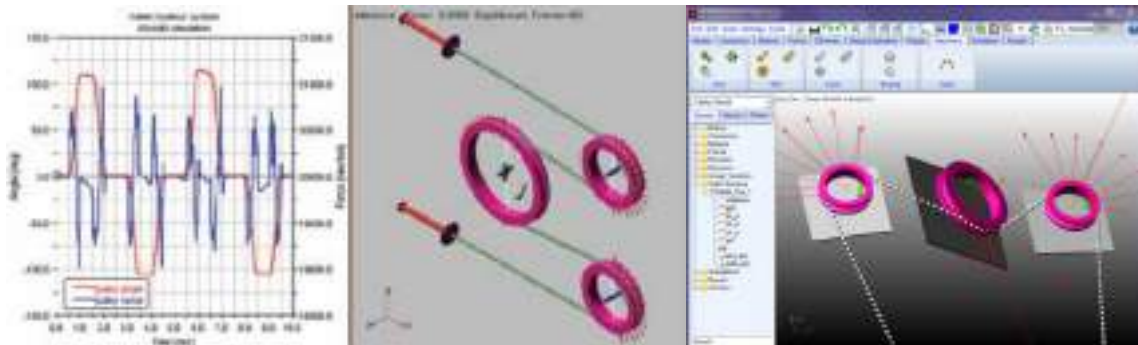
Con la ayuda de las herramientas de Adams/Cable, los usuarios de Adams pueden modelar y simular fácilmente subsistema de cable en el mecanismo completo, y evaluar su influencia en el comportamiento global.

Algunas de las características del kit de herramientas de Adams/Cable son:

- Interfaz gráfica de usuario para:
  - Permitir la creación de polea con dirección de rotación asociada
  - Permitir la creación de la parte inicial/final del circuito abierto
  - Enrollar el cable
- Los niveles de complejidad del cable:
  - Modelo de sistema para un cálculo rápido
  - Modelos discretos con 2 opciones para tener en cuenta diferentes DOF y asociados en la rigidez para un cálculo más preciso y captura del modo de vibración del tramo de cable
- Simulación de fricción



- Capacidad de movimiento fuera del plano



**Ilustración 45-2:** Análisis de cables.

**Fuente:** (MSC Software, 2012, p. 1)

Las capacidades que ofrece Adams son las siguientes (MSC Software, 2012, p. 1):

- Herramienta de creación de poleas
- Herramienta de envoltura automática de abierto/circuito de cable cerrado
- 3 niveles de modelo de cable para tener el mejor compromiso entre el tiempo de simulación y precisión
- Movimiento fuera del plano

En forma más resumida, el “Módulo de cable” de Adams está diseñado para que los ingenieros modelen y analicen fácilmente los sistemas de transmisión basados en cable con aspectos más destacados (ADMACH, 2014). Se detallará a continuación:

- Calcular con precisión la vibración y la tensión del cable
- Predecir el historial de carga de las poleas para realizar análisis de fatiga
- Analizar el impacto del deslizamiento del cable en el rendimiento de la carga del sistema
- Estudiar el efecto del cumplimiento del cable en la velocidad de salida del sistema
- Estudiar los efectos del cabrestante en términos de adición y eliminación de la longitud del cable del sistema
- Definir las propiedades de la polea en términos de dimensiones, parámetros de contacto y materiales
- Definir la precarga, la densidad, el módulo de Young, el coeficiente de rigidez y el coeficiente de amortiguación para obtener las salidas de cable precisas

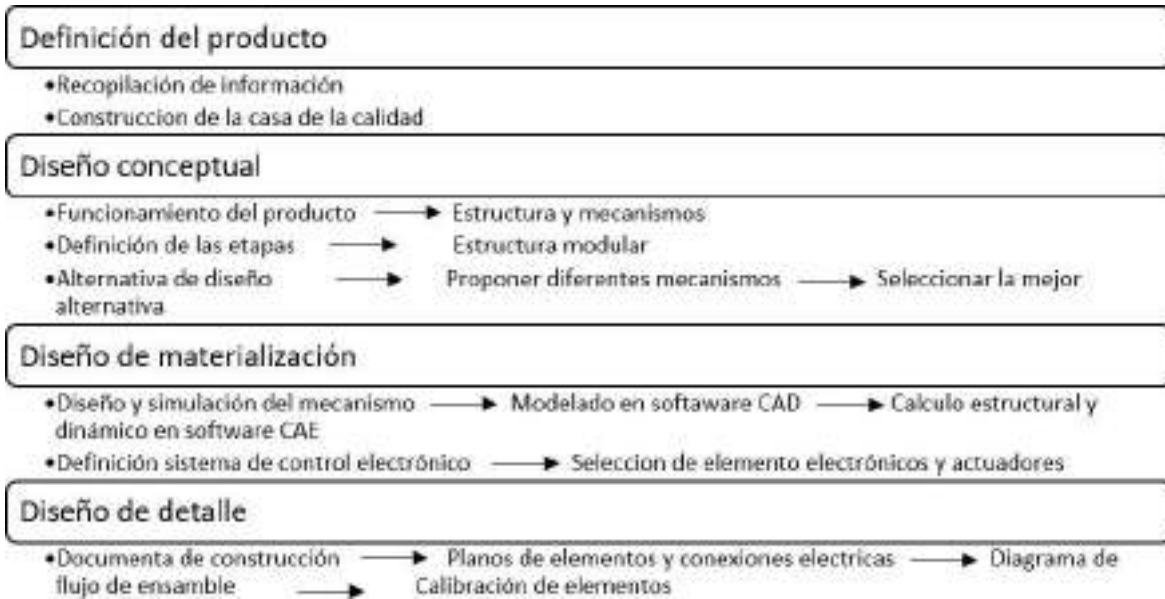
Los beneficios que brinda Adams son varios, donde permite a los usuarios modelar y simular subsistema de cable fácilmente complejo en completo mecanismo y evaluar su influencia en el comportamiento mundial

## CAPÍTULO III

### 3 MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Metodología del diseño

El presente proyecto plantea la aplicación de la Metodología QFD para diseño de la prótesis cumpla con los requerimientos del cliente y tenga un costo accesible. Para una ejecución más estructurada se ha elaborado diagramas y gráficos, utilizando como herramienta principal el diseño concurrente.



**Ilustración 1-3:** Etapas de diseño.

Realizado por: Asan, M., Quevedo, D., 2023

#### 3.2 Definición del producto

En el capítulo correspondiente al marco teórico se revisó literatura respecto a anatomía, fisiología de la mano, tipos de prótesis y manufactura aditiva, esto con ayuda del diseño mediante método de elementos finitos y multibody dynamics, para un mejor criterio de diseño de prótesis en base a la estructura QFD.

##### 3.2.1 *Requerimientos del cliente*

Teniendo en cuenta diferentes investigaciones obtenidas de revistas de alto impacto y de grupos de bioingeniería se procedió a determinar las necesidades y expectativas de los usuarios para tener una relación en base a requerimientos de la matriz de planificación del producto. A continuación, se detallan las categorías lógicas escogidas para el análisis.

### *3.2.1.1 Requerimientos de seguridad*

#### **Resistente**

La prótesis debe cumplir requerimientos de rigidez y resistencia para evitar accidentes debido a impactos inesperados en la prótesis.

#### **Toxicidad**

La manufactura de la prótesis debe ser tal que la persona no presente cuadros de alergia al momento de usos prolongados de dicha prótesis.

### *3.2.1.2 Requerimientos de operación*

#### **Movilidad**

Se requiere que la movilidad de la mano sea adecuada y dada la limitación de espacio por el tamaño de la prótesis en donde se alojan los pares cinemáticos, se utilizará pines.

#### **Mecanismo**

Es necesario implementar un mecanismo de accionamiento por cables capaz para que la flexión de los dedos se lo más fluida posible.

### *3.2.1.3 Requerimientos funcionales*

#### **Dimensiones**

Se necesita que la prótesis cumpla con requerimientos mínimos de forma y tamaño a una mano humana.

#### **Portabilidad**

Es requisito que la prótesis pueda trasladarse de un lugar a otro con facilidad.

#### **Ensamble sencillo**

Se requiere que la prótesis tenga un ensamble sencillo y a la vez que no se desarme en el momento de aplicación de cargas.

#### **Rápido montaje y desmontaje**

Se necesita que el tiempo sea mínimo durante la colocación y retiro de la prótesis.

#### **Agarre estable y preciso**

Se solicita que al sujetar algún objeto la prótesis sea lo más estable sin tanta presencia de vibración.

#### **Buena alineación del agarre de los objetos**

Se requiere indispensablemente una alineación la más correcta posible durante la maniobrabilidad de la prótesis.

### **Durabilidad de la prótesis**

Se necesita que la prótesis tenga una vida útil duradera mediante la utilización de polímeros que brinden confianza a la persona.

### **Fácil mantenimiento**

La prótesis debe ser tal que la persona pueda fácilmente realizar la respectiva limpieza en las articulaciones, en los cables y elemento que conforma la prótesis.

### **Pronación y supinación de aspecto lo más natural posible**

Se procura que exista una sujeción estable con el muñón durante el giro que realice la persona de su antebrazo con la prótesis colocada y así evitar cualquier tipo de inconveniente.

### **Apertura y cierre de forma lo más natural posible**

Se requiere que el accionamiento mediante el muñón y por la flexión de los cables se muestre lo más natural posible

### **Gadgets o piezas intercambiables**

Se solicita que la prótesis tenga piezas intercambiables con su respectivo diseño en caso de presentar deterioro en alguna de las mismas.

### **Antropométrica**

Se solicita que la antropométrica sea similar a la de la mano humana

#### *3.2.1.4 Requerimientos de costos*

### **Costo del producto**

Se requiere que la fabricación de la prótesis tenga un costo accesible y no exista ningún inconveniente en su adquisición.

### **Materiales de fabricación**

Se necesita una selección de material basado en polímeros y seleccionados mediante datasheet para mayor confiabilidad en sus propiedades mecánicas.

#### *3.2.2 Función de la casa de la calidad*

La casa de calidad ayuda a conectar la necesidad que tiene la persona adulta con las características técnicas que debe tener presente el ingeniero al momento de diseñar el producto, generando alternativas de solución, diseñando un producto que puede cumplir con las necesidades de la persona adulta.

##### *3.2.2.1 Voz del usuario*

Se establece necesidades que el cliente requiere como:

#### Demandas básicas

- Económica
- Segura
- Fácil mantenimiento
- Fácil manejo

#### Demandas de diseño

- Resistente
- Liviana
- Ajustable
- Estable
- Fácil movilidad

#### 3.2.2.2 *Voz del ingeniero*

Se establece las especificaciones técnicas generales del prototipo:

- Dimensiones

Para cumplir con las dimensiones de la mano se procede al uso del escáner SENSE 3D.

- Ergonomía

Se requiere el uso de un liner con la finalidad de brindar mayor comodidad.

- Materiales

La selección de materiales para el diseño se lo efectuará en el software CES EDUPACK.

- Estructura

La estructura de la prótesis se lo efectuará en SolidWorks.

- Tiempo de uso

El tiempo considerado para el uso de la prótesis por parte del usuario será de 12 horas en el día.

- Resistencia

La prótesis debe resistir con carga relativamente liviana con tareas básicas

- Manufacturas

El proceso de fabricación del prototipo está basado en los avances tecnológicos como es la manufactura aditiva que la ESPOCH posee en sus laboratorios.

- Mecanismos

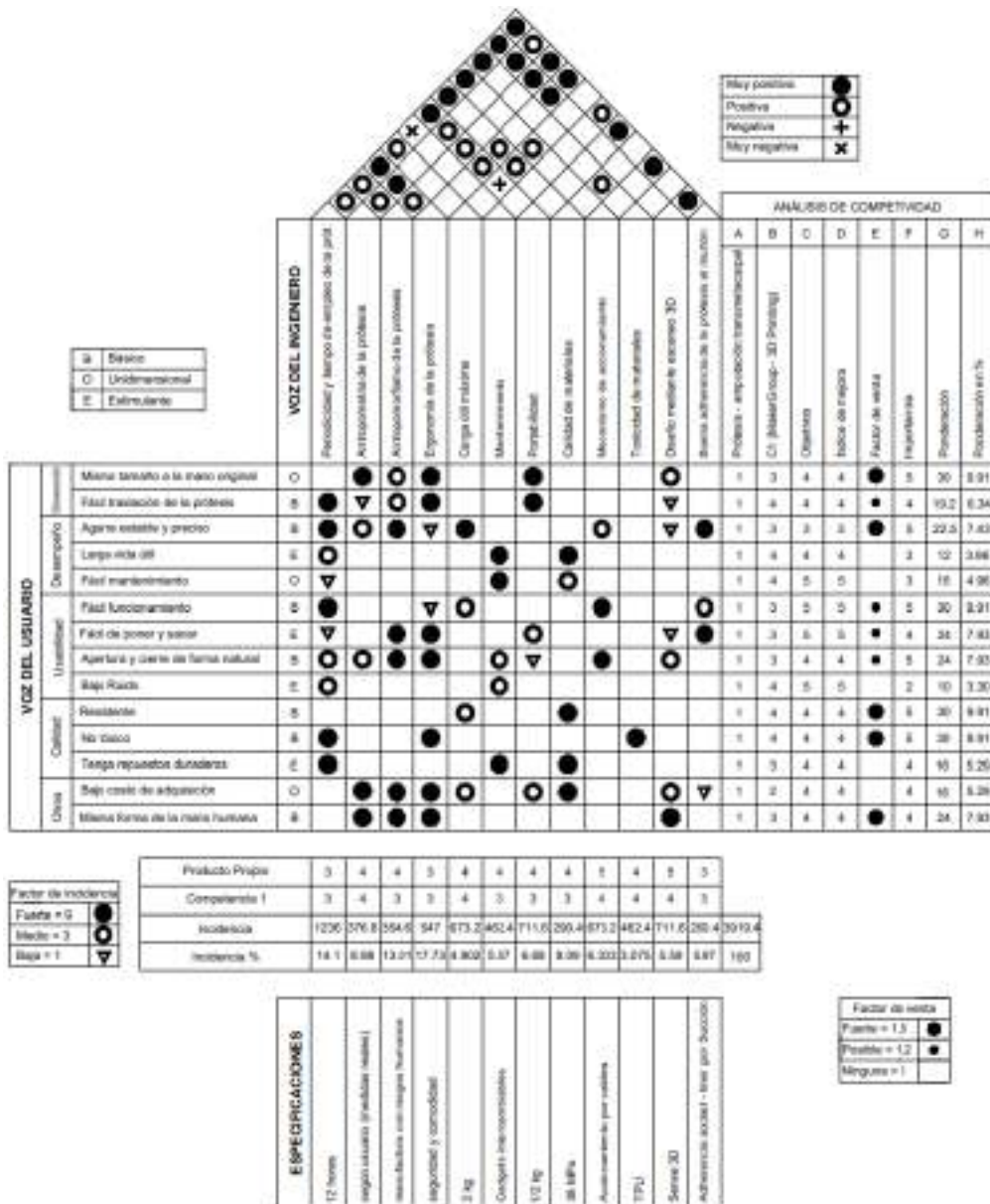
Para el análisis del mecanismo empleado con cuerda tal como se muestra en la ilustración 2-3, se efectúa simulaciones en los softwares Ansys Workbench y en MSC Adams.



**Ilustración 2-3:** Mecanismo de un dedo

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

Mediante la utilización del QFD se analiza cada parámetro tanto de la voz del usuario como la voz del ingeniero.



**Ilustración 3-3:** Casa de la calidad QFD

Realizado por: Asan, M., Quevedo, D., 2023

### 3.2.3 Resultados casa de la calidad

Las especificaciones técnicas en base a las demandas del usuario se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 1-3:** Resultados del QFD

| Incidencia | Voz del ingeniero            | Especificación técnica                | Observaciones   |
|------------|------------------------------|---------------------------------------|---|
| 1          | Ergonomía                    | Seguridad y comodidad                 |   |
| 2          | Periodicidad y tiempo de uso | 12 horas                              |   |
| 3          | Antropomorfismo              | Manufactura con rasgos humanos        |   |
| 4          | Antropometría                | Según usuario (escala real)           |   |
| 5          | Resistencia                  | 38 MPa                                | Límite de fluencia                                    |
| 6          | Portabilidad                 | ½ kg                                  |   |
| 7          | Mecanismo de accionamiento   | Accionamiento por cables              |   |
| 8          | Adherencia prótesis muñón    | Adherencia socket – liner por succión | Liner es opcional                                     |
| 9          | Diseño mediante escaneo 3D   | SENSE 3D                              |   |
| 10         | Mantenimiento                | Gadgets intercambiables               |   |
| 11         | Carga útil máxima            | 2 kg                                  |   |
| 12         | Toxicidad                    | TPU                                   | Según reportes es un material compatible con la piel. |

Realizado por: Asan, M; Quevedo, D., 2023

Las especificaciones técnicas obtenidas son el resultado del análisis de 14 requerimientos primordiales para los usuarios, en donde cada una de las necesidades que los clientes consideran de una prótesis han sido estudiadas minuciosamente. Cada característica técnica para el desarrollo de la prótesis está dada en base a la incidencia de la demanda que los usuarios consideraron en distintas encuestas, dando como prioridad la ergonomía de la prótesis seguida de la antropometría y antropomorfismo, en cuanto a la toxicidad, el usuario la considera implícita en los requerimientos básicos de utilización puesto que no fue muy mencionada en las encuestas.

### 3.3 Diseño conceptual

En el diseño conceptual se especifica los módulos funcionales y modulares, también se propone dar soluciones a las alternativas de diseño más cercanas a satisfacer las necesidades y características técnicas, lo cual procedemos a hacer un análisis de criterios ponderados.

#### 3.3.1 Evaluación de la estructura funcional

Mediante un conocimiento básico y de manera general del algoritmo secuencial del funcionamiento, detallando las señales de entrada, su transformación y la salida que genera este proceso, esta evaluación es la base fundamental para la elaboración del análisis de la estructura modular del prototipo. La estructura funcional del prototipo es la siguiente:



**Ilustración 4-3:** Estructura funcional

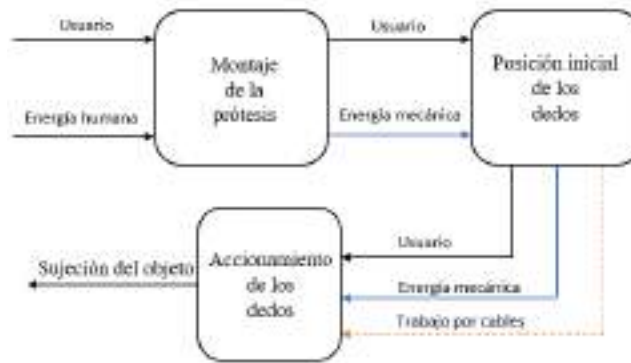
Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

### 3.3.2 Evaluación de la estructura modular

Nos da a conocer un conocimiento básico y general del algoritmo secuencial que tiene la prótesis para su funcionamiento, detallando las señales de entrada, su transformación y la salida que genera este proceso, esta evaluación es la base para realizar el análisis de la estructura modular del prototipo.

#### 3.3.2.1 Nivel I

El algoritmo secuencial que se basa en el prototipo de la prótesis es el siguiente:

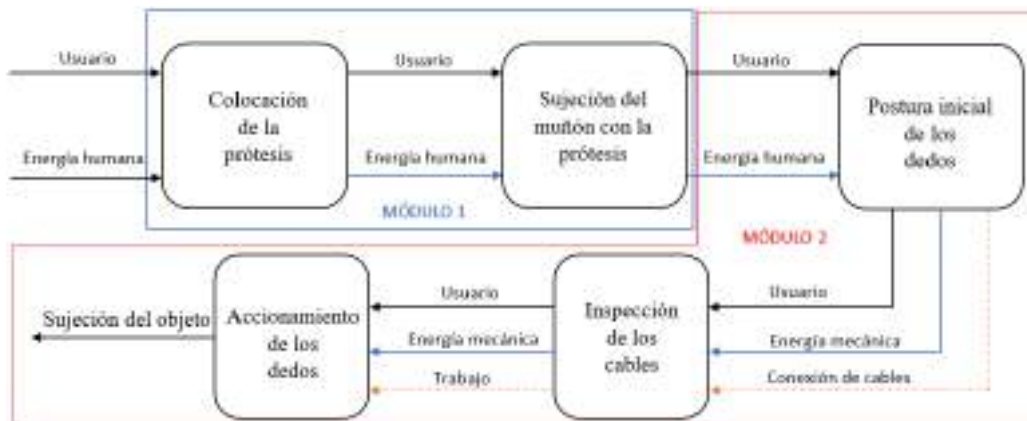


**Ilustración 5-3:** Nivel 1.

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

#### 3.3.2.2 Nivel II

Posee un algoritmo secuencial basado en el nivel I pero de una forma más detallada separándolo en dos módulos.



**Ilustración 6-3:** Nivel 2.

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023






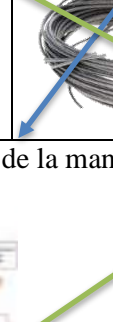
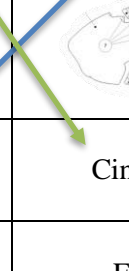
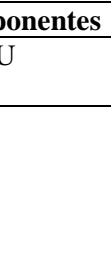


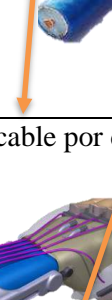
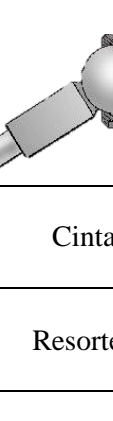





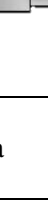
### 3.4 Matriz morfológica y generación de alternativas

Las posibles soluciones planteadas están basadas en las demandas que se detectaron mediante encuestas cuyo estudio se realizó la matriz morfológica correspondiente al módulo estructural y de control.

#### 3.4.1 Módulo estructural

Con la ayuda de la tabla 2-3 se indica los componentes relacionados a cada tipo de función para relacionarlos y formar diferentes alternativas mediante flechas de color. Las flechas de color verde se tratan de la alternativa 1, las flechas de color azul se tratan de la alternativa 2 y las flechas de color naranja se tratan de la alternativa 3.

**Tabla 2-3:** Módulo estructural

| Función  | Componentes   |   |  |
|--|---|---|--|
|  | PLA   | TPU   | ABS  |
| Mecanismo de adherencia Muñón – prótesis           | Socket – muñón<br>                  |   | Socket – liner<br>      |
| Material del cable                                 | NYLON<br>                           | Acero<br>              | Polímero sintético<br>  |
| Conexión del cable                                 | Según la fisiología de la mano<br> | Un cable por dedo<br> |  |
| Grados de libertad                                 | 1   |   | 2  |
| Tipos de juntas en las articulaciones de los dedos | Tipo PIN<br>                      | Deslizador<br>       | Junta esférica<br>    |
| Tipo de sujeción prótesis – antebrazo              | Correas<br>                        | Cinta velcro<br>     | Cinta elástica<br>    |
| Tipo de mecanismo de retorno                       | Resorte a tracción<br>             | Elastano<br>         | Resorte a torsión<br> |

Realizado por: Asan, M; Quevedo, D., 2023

### 3.4.2 Módulo de control

Con la ayuda de la tabla 3-3 se indica los componentes relacionados a cada tipo de función para relacionarlos y formar diferentes alternativas mediante flechas de color. Las flechas de color verde se tratan de la alternativa 1, las flechas de color azul se tratan de la alternativa 2

**Tabla 3-3** Módulo de control

| <b>Función</b>                   | <b>Componentes</b> |             |            |
|----------------------------------|--------------------|-------------|------------|
| Sistema de operación             | Mecánica           | Electrónica | Hidráulica |
| Sistema de control del mecanismo | Fuerza humana      | Servo motor |            |

Realizado por: Asan, M; Quevedo, D., 2023

### 3.5 Evaluación de alternativas

Las evaluaciones de las alternativas son primordiales para una correcta toma de decisiones mediante un análisis basadas en comparaciones de los criterios más importantes y relevantes.

Se presenta tres alternativas para la fabricación de la prótesis, las cuales deben ser analizadas y comparadas para definir a la más viable.

Alternativa 1: El armazón de la prótesis en esta alternativa puede ser impreso en ácido poli láctico PLA con un tipo de adherencia socket – muñón mediante un mecanismo de succión. La solución que se plantea para el mecanismo de accionamiento es un sistema por cables de acero de bajo carbono tratando de controlar la fricción para que no se produzca un desgaste en los canales por donde pasan los cables. Las conexiones para el movimiento de los dedos pueden ser según los tendones de la mano y con un grado de libertad para una coordinación y estabilidad en la sujeción. En cuanto a las articulaciones se plantea una junta tipo deslizador. La prótesis puede ser sujeta antebrazo del paciente con un sistema de correa.

Alternativa 2: Una estructura impresa en Termoplástico de Poliuretano TPU, es lo que se plantea en esta solución. Se recomienda una adherencia del muñón al socket mediante un liner. El mecanismo de accionamiento consiste en cables de nylon en donde cada uno de ellos estará a cargo de la movilidad de un dedo. La prótesis es accionada por la aplicación de una fuerza en la palma de esta, haciendo que los dedos se muevan en completa sincronía (1 DOF). Cada dedo está conectado mediante pines. El sistema de sujeción al antebrazo es mediante velcro para una mayor ergonomía.

Alternativa 3: El material del armazón es de ABS, en donde la fricción entre el socket y el muñón es reducida por el liner. Los cables del mecanismo de accionamiento son de un polímero sintético y van conectados uno a cada dedo. El mecanismo de sujeción de los dedos consta de 2 grados de libertad y

las articulaciones en los dedos tienen juntas esféricas. El sistema que ayuda en la sujeción de la prótesis contra el antebrazo es mediante una cinta elástica.

### 3.5.1 Evaluación del módulo funcional

#### 3.5.1.1 Criterios de evaluación

La evaluación dio criterios más importantes como: la ergonomía, la resistencia, el peso y su costo.

**Tabla 4-3:** Análisis de los criterios de evaluación

|             | Ergonomía | Resistencia | Peso | Costo | Sumatoria | Ponderación |
|-------------|-----------|-------------|------|-------|-----------|-------------|
| Ergonomía   |           | 1           | 1    | 1     | 4         | 0.4         |
| Resistencia | 0         |             | 1    | 1     | 3         | 0.3         |
| Peso        | 0         | 0           |      | 0.5   | 1.5       | 0.15        |
| Costo       | 0         | 0           | 0.5  |       | 1.5       | 0.15        |
|             |           |             |      |       | 10        | 1           |

Realizado por: Asan, M; Quevedo, D., 2023

#### 3.5.1.2 Evaluación del criterio de ergonomía

**Tabla 5-3:** Evaluación de ergonomía

|               | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 | Sumatoria | Ponderación |
|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------|-------------|
| Alternativa 1 |               | 0             | 0             | 1         | 0.17        |
| Alternativa 2 | 1             |               | 1             | 3         | 0.5         |
| Alternativa 3 | 1             | 0             |               | 2         | 0.33        |
|               |               |               |               | 6         | 1           |

Realizado por: Asan, M; Quevedo, D., 2023

#### 3.5.1.3 Evaluación del criterio de resistencia

**Tabla 6-3:** Evaluación de resistencia

|               | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 | Sumatoria | Ponderación |
|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------|-------------|
| Alternativa 1 |               | 1             | 0.5           | 2.5       | 0.42        |
| Alternativa 2 | 0             |               | 0             | 1         | 0.16        |
| Alternativa 3 | 0.5           | 1             |               | 2.5       | 0.42        |
|               |               |               |               | 6         | 1           |

Realizado por: Asan, M; Quevedo, D., 2023

#### 3.5.1.4 Evaluación del criterio de peso

**Tabla 7-3:** Evaluación de peso (ligero)

|               | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 | Sumatoria | Ponderación |
|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------|-------------|
| Alternativa 1 |               | 0             | 0.5           | 1.5       | 0.25        |
| Alternativa 2 | 1             |               | 1             | 3         | 0.5         |
| Alternativa 3 | 0.5           | 0             |               | 1.5       | 0.25        |
|               |               |               |               | 6         | 1           |

Realizado por: Asan, M; Quevedo, D., 2023

### 3.5.1.5 Evaluación del criterio de costo

**Tabla 8-3:** Evaluación de costo

|               | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 | Sumatoria | Ponderación |
|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------|-------------|
| Alternativa 1 |               | 0             | 0             | 1         | 0.17        |
| Alternativa 2 | 1             |               | 1             | 3         | 0.5         |
| Alternativa 3 | 1             | 0             |               | 2         | 0.33        |
|               |               |               |               | 6         | 1           |

Realizado por: Asan, M; Quevedo, D., 2023

### 3.5.1.6 Resultados de las evaluaciones de cada parámetro del módulo funcional

**Tabla 9-3:** Tabla de resultados del módulo funcional

|               | Ergonomía | Resistencia | Peso   | Costo  | Ponderación | Prioridad |
|---------------|-----------|-------------|--------|--------|-------------|-----------|
| Alternativa 1 | 0.068     | 0.126       | 0.0375 | 0.0255 | 0.257       | 3         |
| Alternativa 2 | 0.2       | 0.048       | 0.075  | 0.075  | 0.398       | 1         |
| Alternativa 3 | 0.132     | 0.126       | 0.0375 | 0.0495 | 0.345       | 2         |

Realizado por: Asan, M; Quevedo, D., 2023

En el módulo funcional, una vez realizadas las ponderaciones se determinó que la alternativa 2 es la más viable, seguida de la alternativa 3 y como tercera opción la alternativa 1.

## 3.5.2 Evaluación del módulo estructural

### 3.5.2.1 Criterios de evaluación

La evaluación dio criterios más importantes como: la eficiencia, el peso, el mantenimiento y su costo.

**Tabla 10-3:** Análisis de los criterios de evaluación

|               | Eficiencia | Peso | Mantenimiento | Costo | Sumatoria | Ponderación |
|---------------|------------|------|---------------|-------|-----------|-------------|
| Eficiencia    |            | 1    | 1             | 1     | 4         | 0.44        |
| Mantenimiento | 0          |      | 0             | 0.5   | 1.5       | 0.17        |
| Peso          | 0          | 0    |               | 1     | 2         | 0.22        |
| Costo         | 0          | 0.5  | 0             |       | 1.5       | 0.17        |
|               |            |      |               |       | 9         | 1           |

Realizado por: Asan, M; Quevedo, D., 2023

### 3.5.2.2 Evaluación del criterio de eficiencia

**Tabla 11-3:** Evaluación de eficiencia

|               | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Sumatoria | Ponderación |
|---------------|---------------|---------------|-----------|-------------|
| Alternativa 1 |               | 1             | 2         | 0.67        |
| Alternativa 2 | 0             |               | 1         | 0.33        |
|               |               |               | 3         | 1           |

Realizado por: Asan, M; Quevedo, D., 2023

### 3.5.2.3 Evaluación del criterio de mantenimiento

**Tabla 12-3:** Evaluación de mantenimiento

|                      | <b>Alternativa 1</b> | <b>Alternativa 2</b> | <b>Sumatoria</b> | <b>Ponderación</b> |
|----------------------|----------------------|----------------------|------------------|--------------------|
| <b>Alternativa 1</b> |                      | 1                    | 2                | 0.67               |
| <b>Alternativa 2</b> | 0                    |                      | 1                | 0.33               |
|                      |                      |                      | 3                | 1                  |

Realizado por: Asan, M; Quevedo, D., 2023

### 3.5.2.4 Evaluación del criterio de peso

**Tabla 13-3:** Evaluación de peso

|                      | <b>Alternativa 1</b> | <b>Alternativa 2</b> | <b>Sumatoria</b> | <b>Ponderación</b> |
|----------------------|----------------------|----------------------|------------------|--------------------|
| <b>Alternativa 1</b> |                      | 1                    | 2                | 0.67               |
| <b>Alternativa 2</b> | 0                    |                      | 1                | 0.33               |
|                      |                      |                      | 3                | 1                  |

Realizado por: Asan, M; Quevedo, D., 2023

### 3.5.2.5 Evaluación del criterio de costo

**Tabla 14-3:** Evaluación de costo

|                      | <b>Alternativa 1</b> | <b>Alternativa 2</b> | <b>Sumatoria</b> | <b>Ponderación</b> |
|----------------------|----------------------|----------------------|------------------|--------------------|
| <b>Alternativa 1</b> |                      | 1                    | 2                | 0.67               |
| <b>Alternativa 2</b> | 0                    |                      | 1                | 0.33               |
|                      |                      |                      | 3                | 1                  |

Realizado por: Asan, M; Quevedo, D., 2023

### 3.5.2.6 Resultados de las evaluaciones de cada parámetro del módulo estructural

**Tabla 15-3:** Tabla de resultados del módulo estructural

|                      | <b>Eficiencia</b> | <b>Mantenimiento</b> | <b>Peso</b> | <b>Costo</b> | <b>Ponderación</b> | <b>Prioridad</b> |
|----------------------|-------------------|----------------------|-------------|--------------|--------------------|------------------|
| <b>Alternativa 1</b> | 0.2948            | 0.1139               | 0.1474      | 0.1139       | 0.67               | 1                |
| <b>Alternativa 2</b> | 0.1452            | 0.0561               | 0.0726      | 0.0561       | 0.33               | 2                |

Realizado por: Asan, M; Quevedo, D., 2023

En el módulo estructural, una vez realizadas las ponderaciones se determinó que la alternativa 1 es la más viable en comparación a la alternativa 2.

## 3.6 Diseño y construcción de la prótesis

### 3.6.1 Prototipado

El prototipado de la prótesis es un proceso extenso e iterativo, el cual comienza con la necesidad del usuario y culmina con la validación de la prótesis mediante las pruebas de funcionamiento comprobando que tenga el alcance previsto.

Las necesidades de operación del usuario se traducen en el tipo de mecanismo de accionamiento implementado en el desarrollo de la prótesis. Otros parámetros indispensables considerados son la ergonomía, antropometría y antropomorfismo que se traducen en el diseño del socket, medidas y forma de la prótesis en similitud con las de la mano, las cuales se solucionaron con el escaneo 3D.

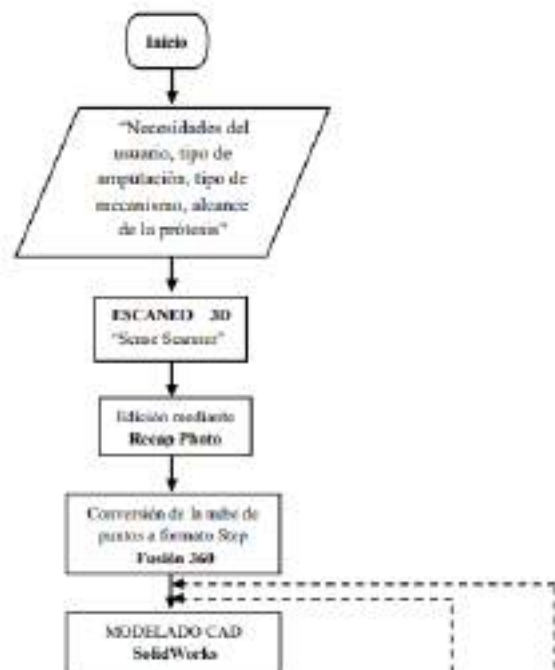
El modelado es el proceso estético del prototipado, el cual mediante el software paramétrico SolidWorks se procedió a realizar un prediseño de la prótesis, haciendo que ésta sea lo más parecida posible a la mano humana. Posterior al modelado se realizó una preselección de los materiales teniendo en cuenta que la prótesis debe ser fabricada con materiales resistentes, flexibles, livianos y cuyas propiedades químicas no sean tóxicas para la piel, sin perder la maniobrabilidad requerida.

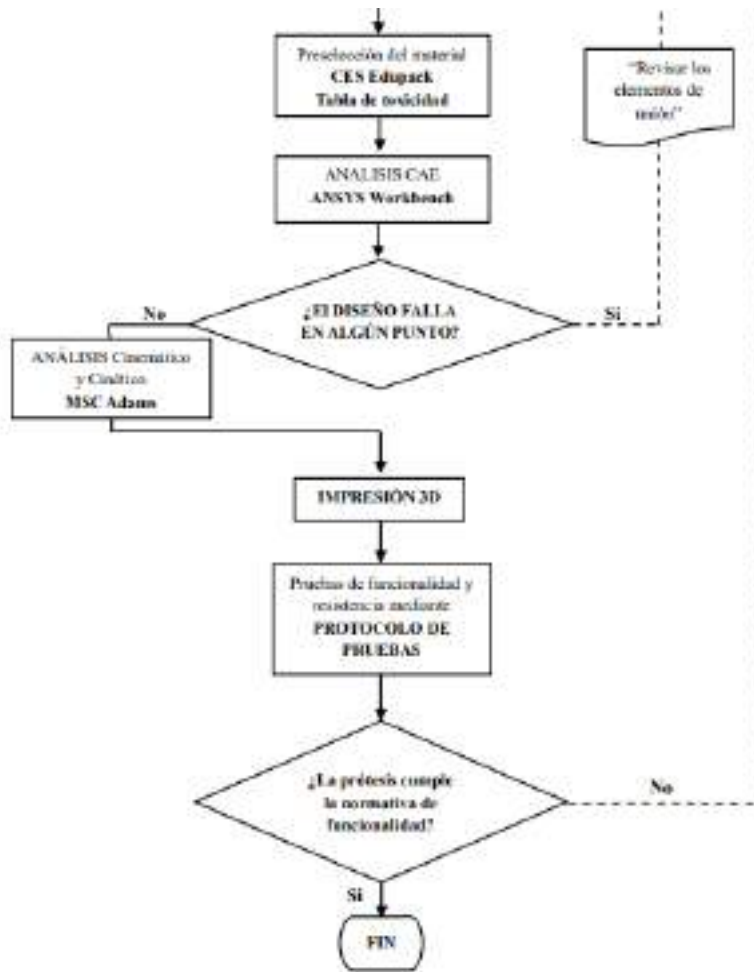
Una vez seleccionados los materiales de cada parte de la prótesis se hizo un estudio CAE mediante Ansys Workbench y MSC Adams, esto con la finalidad de comprobar la resistencia del prediseño, además del estudio cinético del mecanismo.

Para culminar, el primer diseño se procedió a imprimir en 3D validando así los resultados con el protocolo de pruebas. Si el diseño no hubiese cumplido con la normativa de evaluación descritas en el protocolo se debía realizar las respectivas modificaciones en el CAD y continuar con el proceso de prototipado hasta que la prótesis cumpla con los requerimientos del usuario y con ello la culminación del diseño.

### 3.6.1.1 DFD del proceso en el prototipado

Con la ayuda de un diagrama de flujos de datos se recomendada seguir un procedimiento iniciando desde las necesidades del usuario hasta validar la funcionalidad del prototipo de la prótesis.





**Ilustración 7-3:** Proceso del prototipado.

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

### 3.6.1.2 Escaneo 3D “SENSE Scanner”

La opción recomendada para escanear se da al seleccionar la opción de “cuerpo”. Posteriormente, se debe mantener el escáner a una cierta distancia rotándolo cuidadosamente alrededor de la mano y parte del antebrazo, con la finalidad de crear la nube de puntos y exportarlo en formato STL.

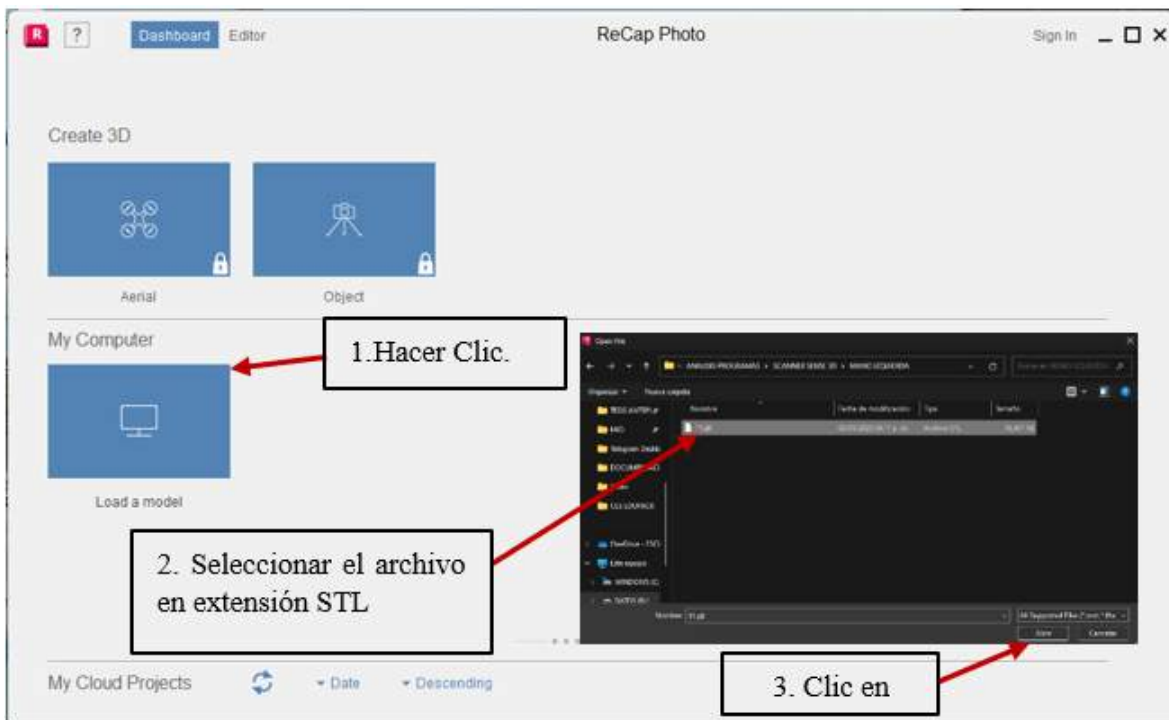


**Ilustración 8-3:** Escaneado 3D

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

### 3.6.1.3 Edición en ReCap Photo

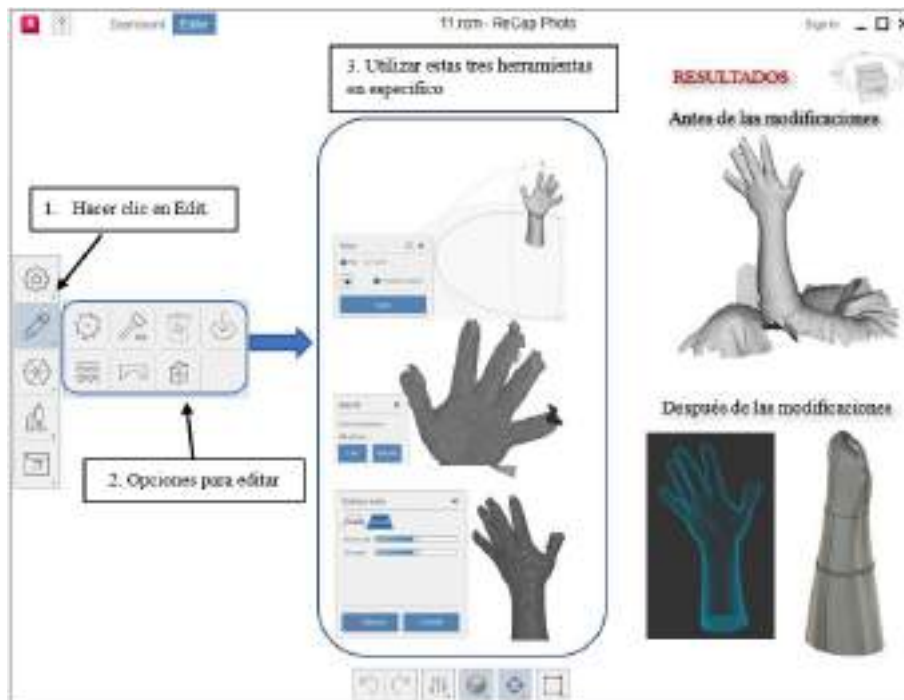
Los pasos indicados permiten abrir el archivo STL generado del SENSE Scanner 3D.



**Ilustración 9-3:** Abrir archivo STL.

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

Con la interfaz del Recap Photo se realiza los siguientes pasos para editar la nube de puntos.



**Ilustración 10-3:** Editar en Recap Photo.

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023



Una vez realizado la edición de la nube de puntos se debe exportar en formato OBJ (Quads) como se muestra en la ilustración.

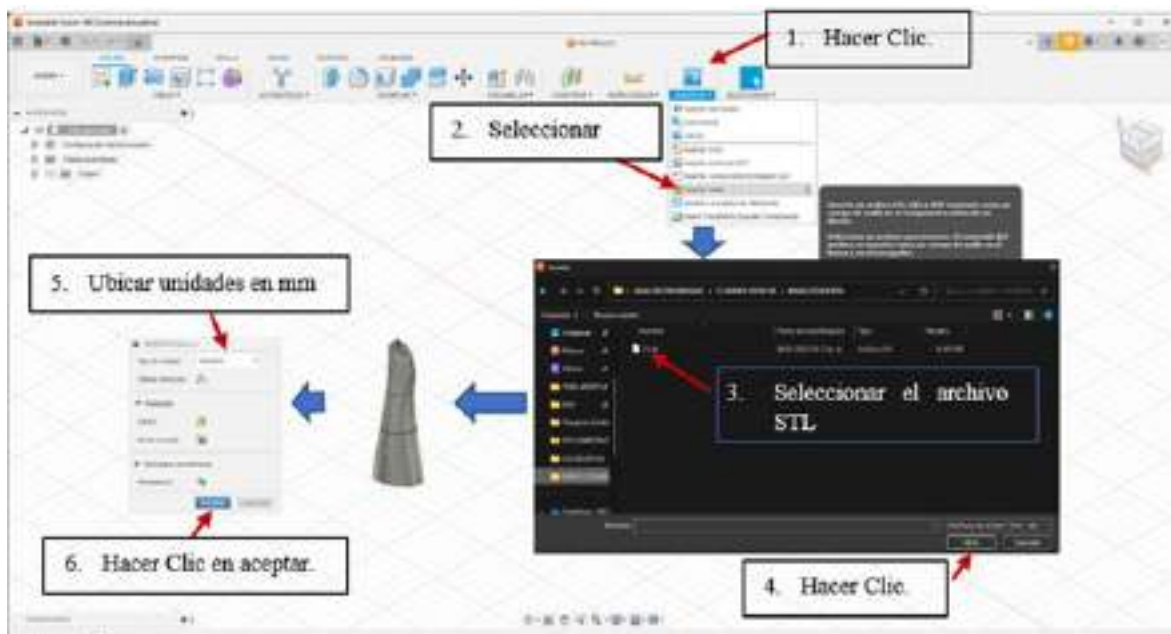


**Ilustración 11-3:** Exportación desde Recap Photo

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

### 3.6.1.4 Modelado en Fusion 360

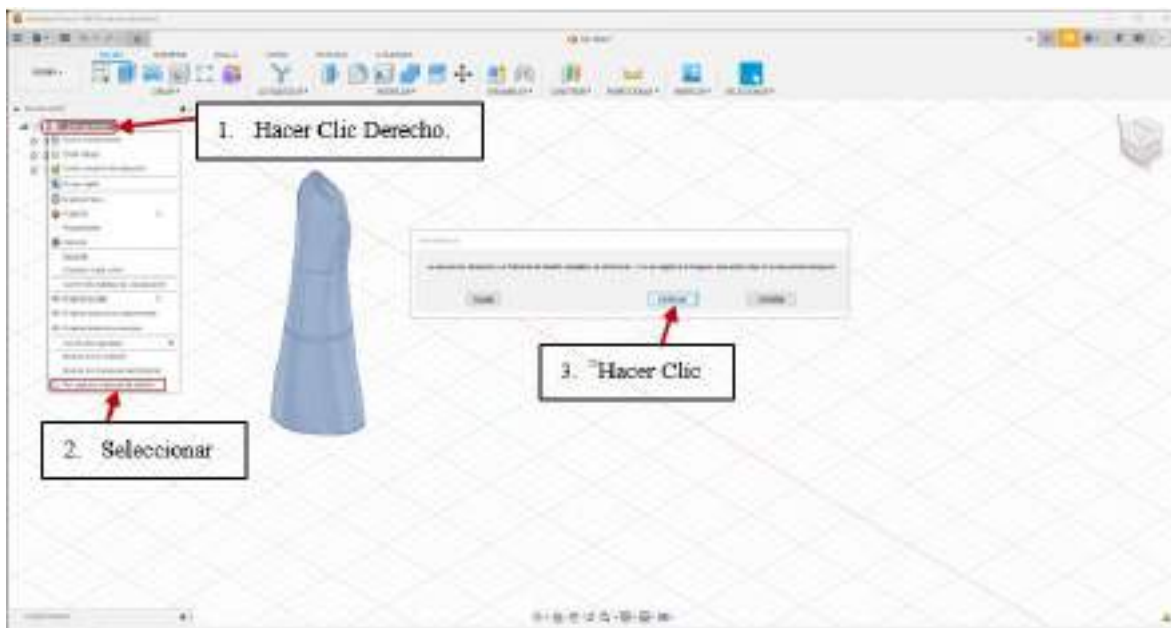
Para la generación de un sólido a partir de una malla exportada del Recap Photo se realiza los siguientes pasos:



**Ilustración 12-3:** Selección del archivo STL u OBJ.

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

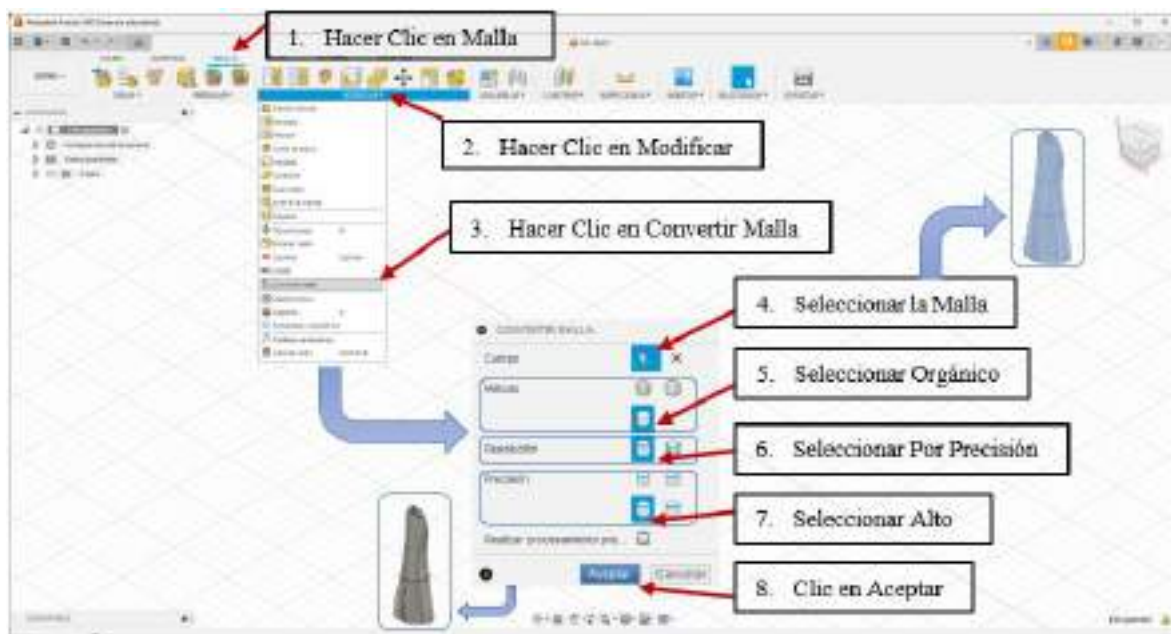
Posteriormente, se debe olvidar el historial de diseño para evitar inconvenientes.



**Ilustración 13-3:** Eliminación de historial de diseño.

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

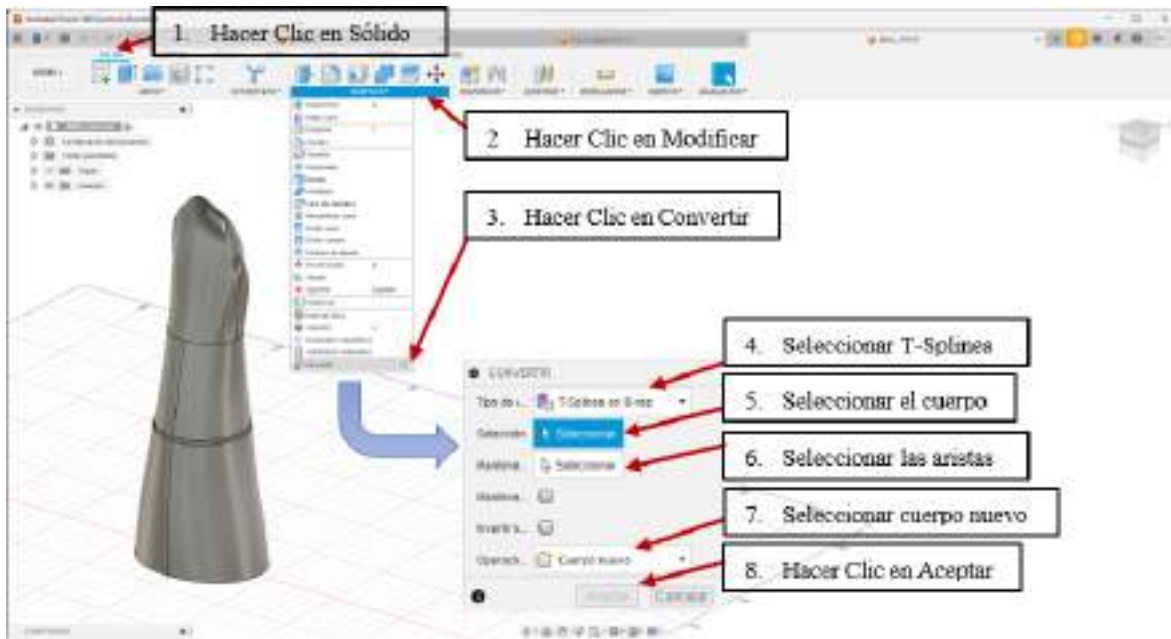
Con la siguiente ilustración se logra convertir a una malla teniendo en cuenta varios parámetros.



**Ilustración 14-3:** Conversión a malla orgánica.

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

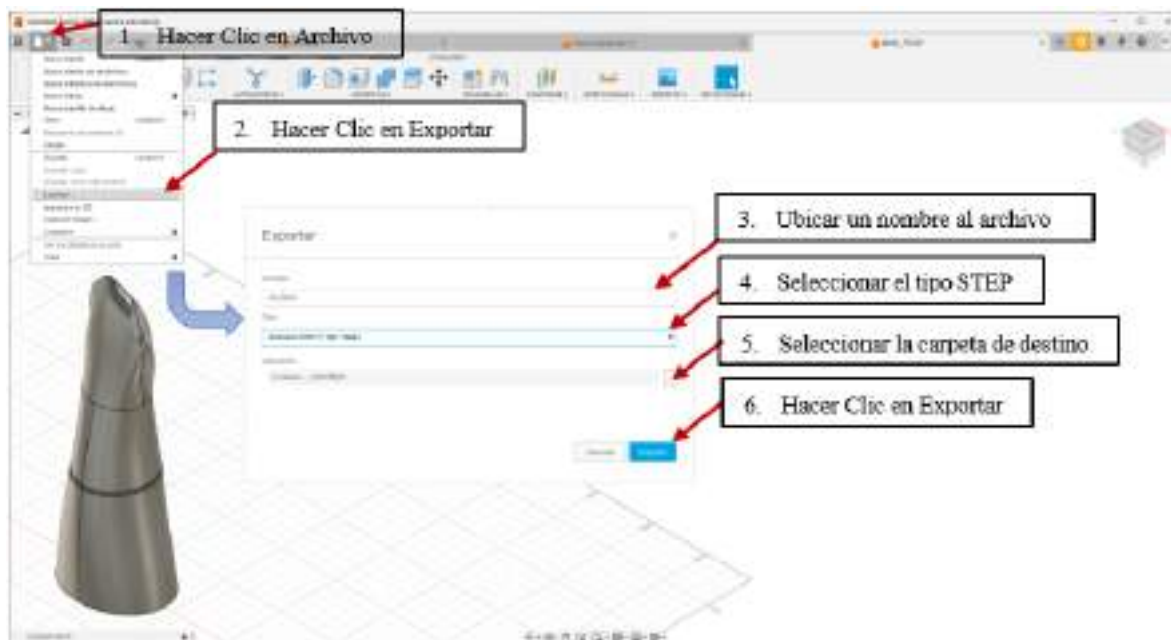
Luego se debe convertir la malla a T-Splines para la creación correcta del sólido desde la nube de puntos.



**Ilustración 15-3:** Conversión a malla T-Splines.

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

Para la exportación del sólido en formato STEP se realiza el procedimiento de la ilustración.



**Ilustración 16-3:** Exportación a formato STEP.

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

### 3.6.1.5 Modelado en SolidWorks

#### Diseño de los dedos

El CAD de los dedos se realiza en base a la fisionomía humana, es decir se divide en 3 falanges desde el índice al meñique y en 2 falanges para el dedo pulgar. Las articulaciones tienen un par cinemático de revoluto y las falanges están fijadas mediante un pin, la perforación que tiene cada falange sirve como canal para que pase el cable que simula a un tendón para que se produzca el movimiento de agarre.



**Ilustración 17-3:** Modelado de los dedos.

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

#### Diseño de la mano

El modelado de la mano de la prótesis se realiza con el escaneo de la mano de la persona para obtener una geometría referencial y así lograr obtener las medidas y la forma de la mano lo más similar a original.



**Ilustración 18-3:** Modelado de la mano.

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

#### Diseño de las articulaciones mano – brazalete

Debido al mecanismo de accionamiento de la prótesis, cuando se diseñaron estas articulaciones se tuvo en cuenta un criterio fundamental de flexión donde la longitud del elemento debe ser lo

suficientemente mayor respecto a su ancho, pero este elemento debe soportar cargas elevadas, entonces debe tener una longitud adecuada para que no se fracture el elemento.



**Ilustración 19-3:** Modelado de las articulaciones.

**Realizado por:** Asan, M., Quevedo, L., 2023

### **Diseño del brazalete**

El brazalete se diseña desde el punto de vista ergonómico en donde la parte superior se ajusta a la geometría del brazo de la persona y la parte inferior se puede regular mediante correas



**Ilustración 20-3:** Modelado del brazalete.

**Realizado por:** Asan, M., Quevedo, L., 2023

### **Diseño del muñón**

El muñón se realiza en función de la mano escaneada del usuario y posteriormente se procede a dar la forma del muñón recordando que se está estudiando un tipo de amputación transmetacarpal.



**Ilustración 21-3:** Modelado del muñón.

**Realizado por:** Asan, M., Quevedo, L., 2023



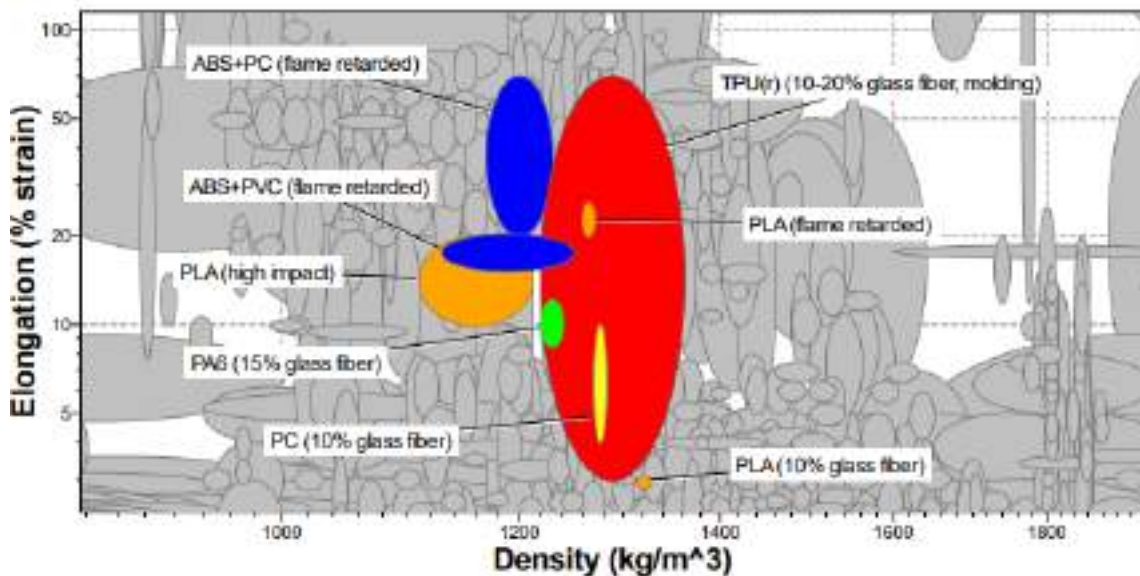
### 3.6.1.6 Selección de Material

La preselección del material de los distintos elementos se realiza mediante dos criterios. El primer criterio de selección es mediante las propiedades requeridas e ingresadas en CES Edupack, estas propiedades se introdujeron en el software en base a artículos científicos correspondientes a la impresión en 3D y fabricación de prótesis.

El segundo criterio considerado en la selección es mediante lista de materiales obtenidos con CES Edupack para proceder a homogeneizar cada material con cada una de las partes de la prótesis esto en función con el nivel de toxicidad del material debido al tiempo de uso que va a tener la prótesis.

#### Selección para la palma de la mano, el muñón y articulación mano-brazalete

La selección del material más adecuado teniendo como prioridad la flexibilidad y capacidad de deformación, del grupo que proporciona el software CES Edupack, es el TPU, se llegó a este resultado con ayuda del diagrama elongación vs densidad en donde se establecieron parámetros de flexibilidad altos puesto que va a estar en contacto con el muñón y con objetos pesados. En lo que respecta a la articulación se tuvo en consideración la flexión por carga del muñón, obteniendo como resultado al TPU como la mejor opción para la función que va a desempeñar.

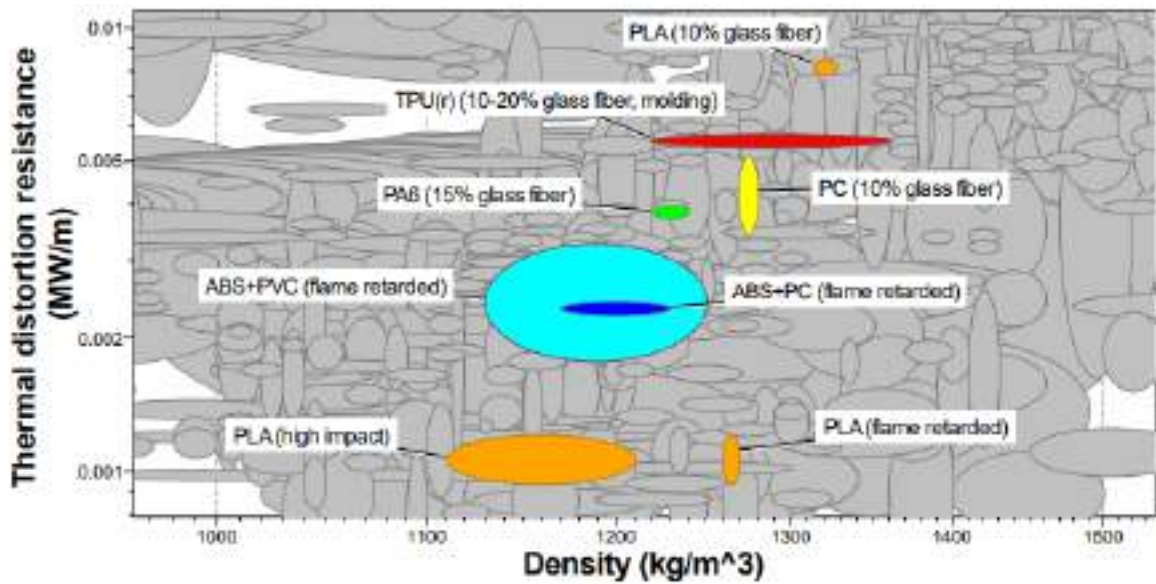


**Ilustración 22-3:** Familia de polímeros y materiales ligeros.

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

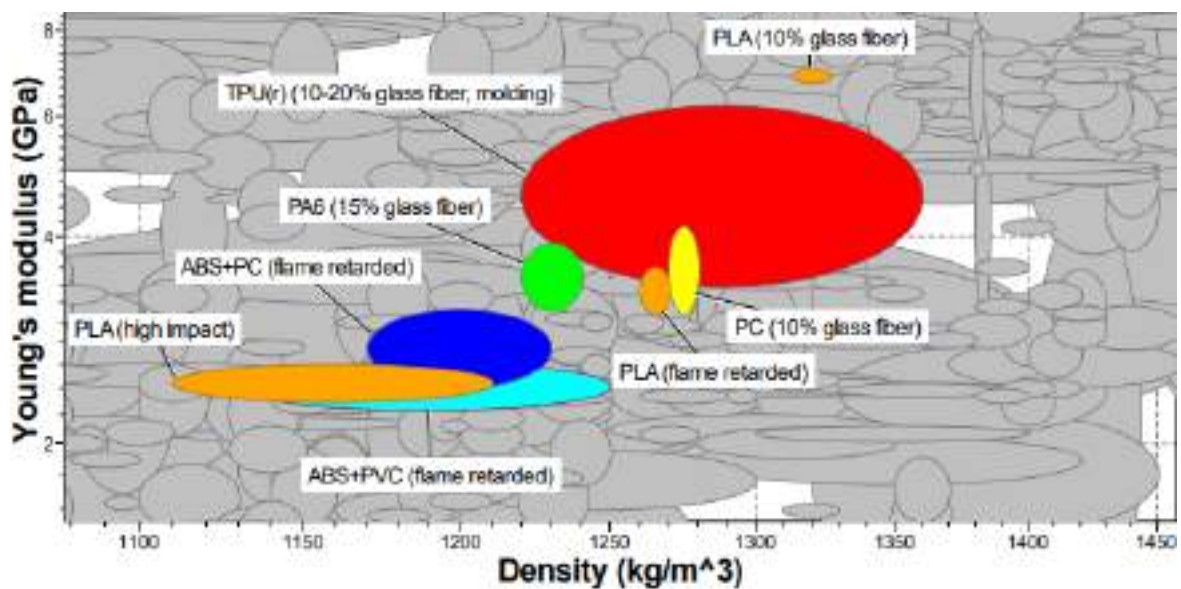
#### Selección para los dedos y brazaletes

El material seleccionado para los dedos y el brazaletes de sujeción es el PLA, esto se determina mediante el diagrama resistencia térmica vs densidad, en donde el PLA y el TPU con una densidad muy cercana, el PLA presentó una mayor resistencia térmica, por lo que se determina como mejor opción además de su alta resistencia a la deformación puesto va a estar en contacto con objetos rugosos y expuesto al sol.



**Ilustración 23-3:** Resistencia térmica vs densidad.

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

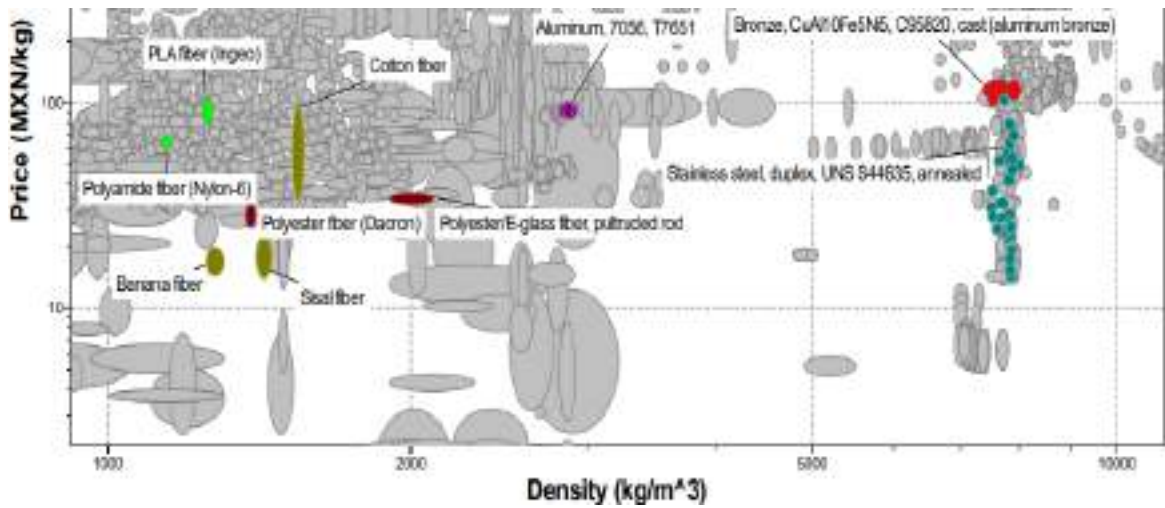


**Ilustración 24-3:** Módulo de Young vs densidad.

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

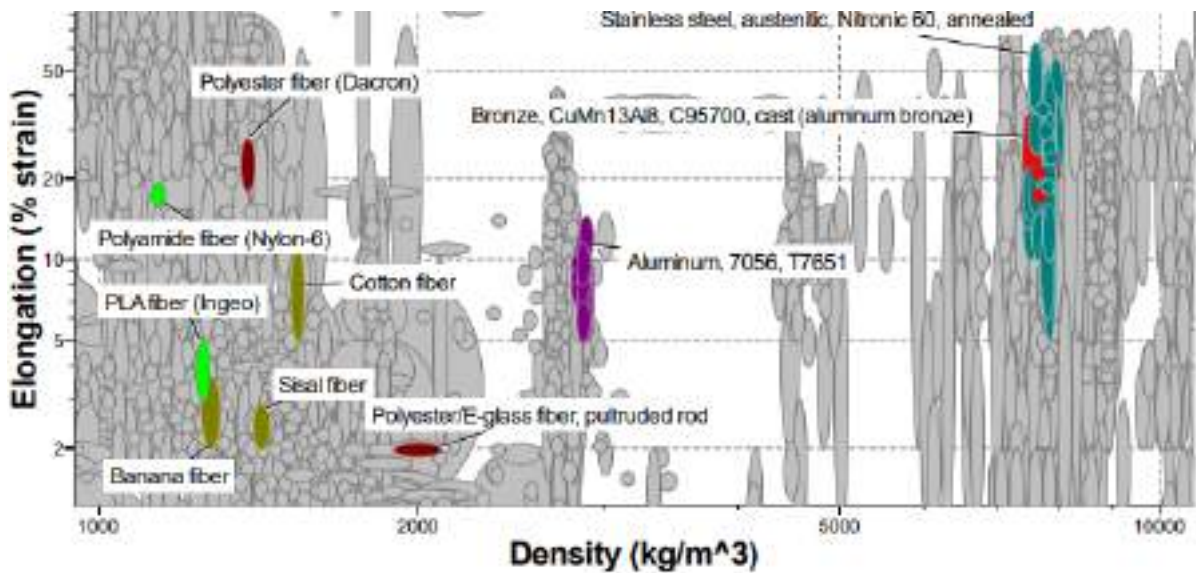
### Selección para el cable

El elemento que se tuvo en consideración para accionar el mecanismo de agarre es el cable, en donde se toma en cuenta parámetros como resistencia, tenacidad y densidad para su selección y en base a todas estas propiedades requeridas el software proporcionó al nylon como mejor opción para realizar dicha función.



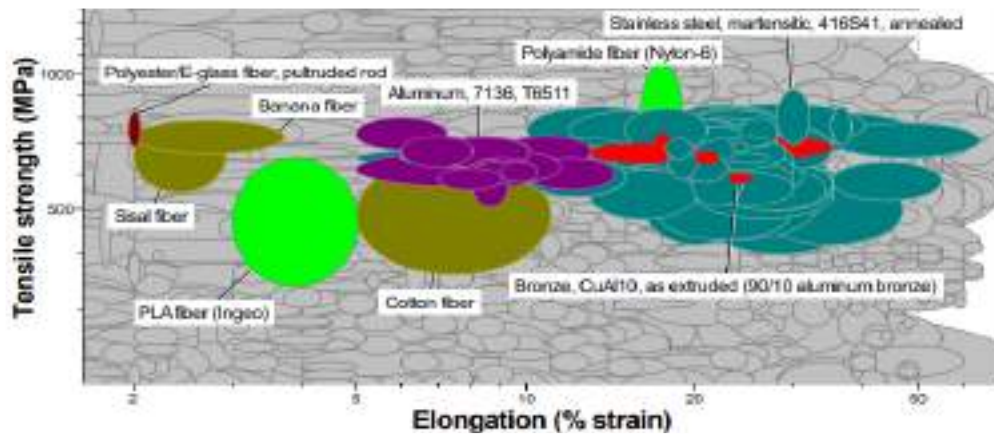
**Ilustración 25-3:** Precio vs densidad.

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023



**Ilustración 26-3:** Porcentaje de elongación vs densidad.

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023



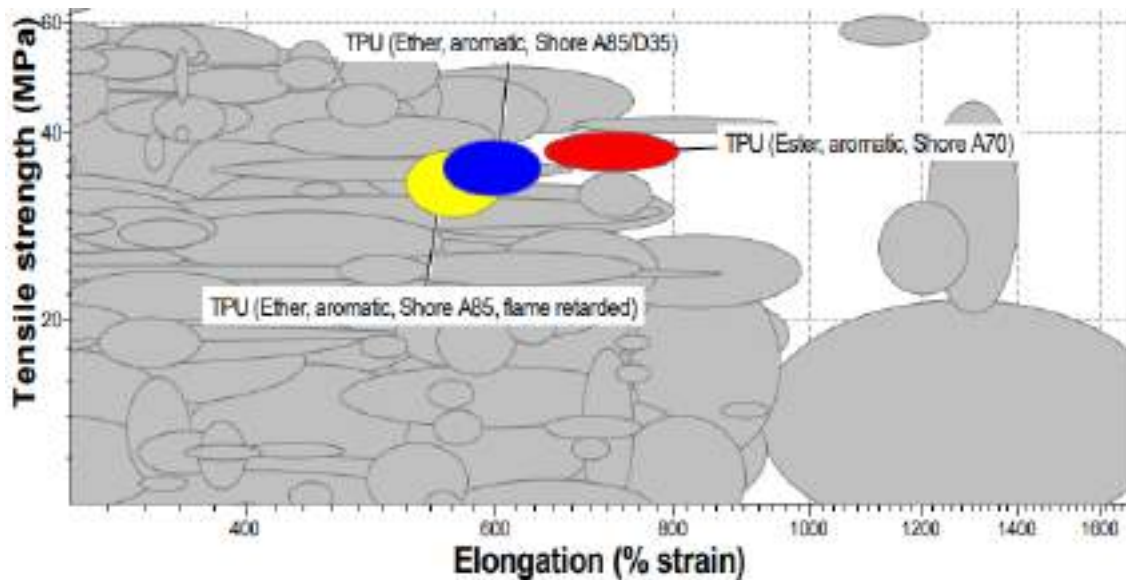
**Ilustración 27-3:** Resistencia a la tensión vs elongación.

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023



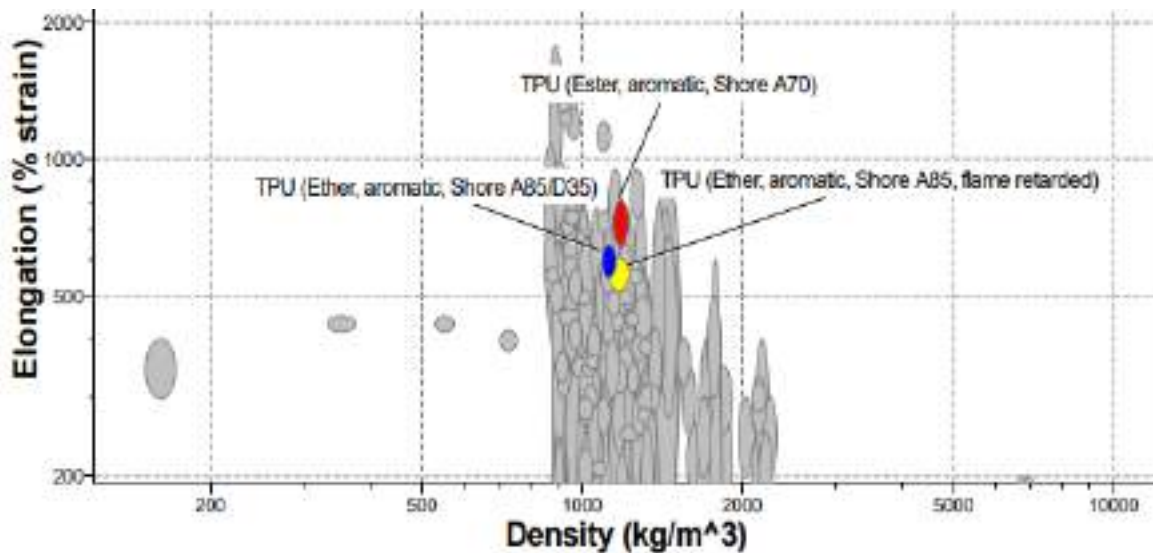
### Selección del material del elemento flexible para el retorno

La selección del elemento de retorno a la posición inicial está en función de la capacidad de carga es por ello por lo que se consideraron como características primordiales al peso del material, precio y resistencia obteniéndose como mejor opción el elastano (TPU A85) cumpliendo con las demandas de resistencia dejando de lado la implementación de un resorte que, aunque cumplió los requerimientos de resistencia el espacio limitado complicó su funcionamiento.



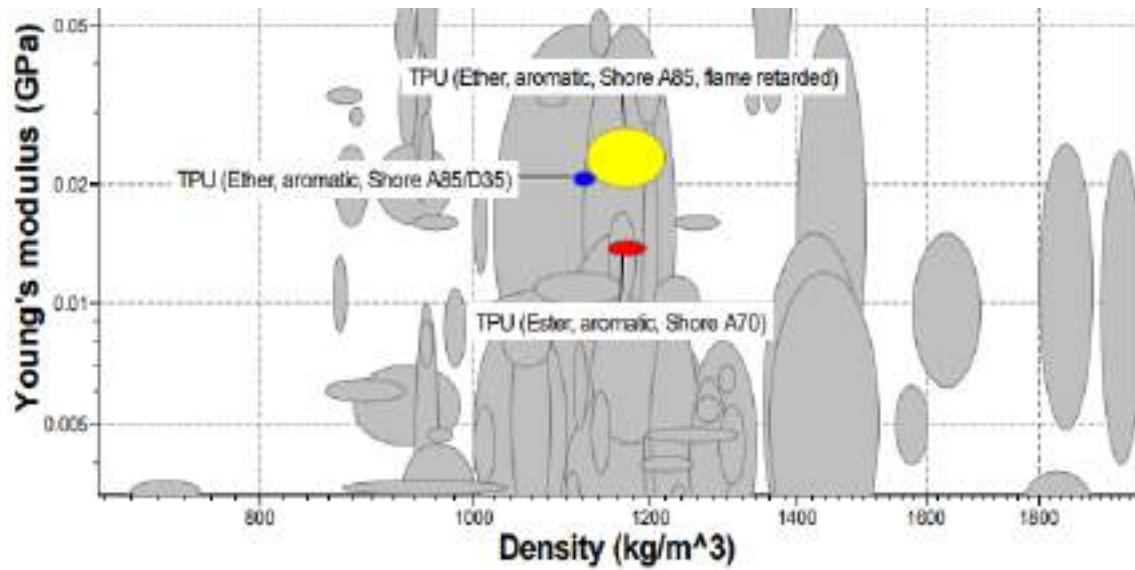
**Ilustración 28-3:** Resistencia a la tensión vs elongación.

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023



**Ilustración 29-3:** Elongación vs densidad.

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023



**Ilustración 30-3:** Módulo de Young vs densidad.

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

### 3.6.1.7 Análisis CAE

#### Cálculo de la fuerza analíticamente

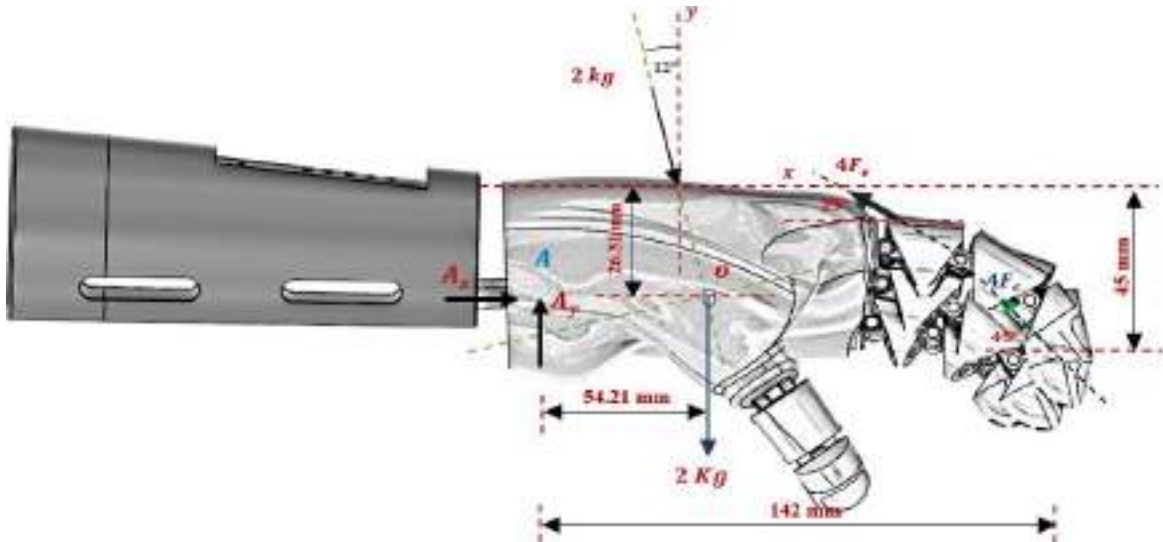
Mediante el diagrama de cuerpo libre se muestra las fuerzas con sus direcciones.



**Ilustración 31-3:** Diagrama de fuerzas en 3D.

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

Mediante el plano XY se tiene un diagrama de cuerpo libre en 2D, donde se muestra las fuerzas con sus direcciones para un cálculo más simplificado.



**Ilustración 32-3:** Diagrama de fuerzas en 2D.

**Realizado por:** Asan, M., Quevedo, L., 2023

Datos:

$$k = 176 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

$$F_C = 1.25 \text{ kg}$$

Cálculos:

$$\sum M_A = 0$$

$$-2(9.81)(\cos 12^\circ)(54.21 \times 10^{-3}) - 2(9.81)(\text{Sen } 12^\circ)(26.31 \times 10^{-3}) - 2(9.81)(54.21 \times 10^{-3}) + (4F_e)(\text{Cos}25^\circ)(26.31 \times 10^{-3}) + (4F_e)(\text{Sen}25^\circ)(91.06 \times 10^{-3}) + (4 * 1.25 * 9.81)(\text{Sen}45^\circ)(142 \times 10^{-3}) - (4 * 1.25 * 9.81)(\text{Sen}45^\circ)(18.69 \times 10^{-3}) = 0$$

$$F_e = 8 \text{ N}$$

### Cálculo de la fuerza del cable de nylon experimentalmente

Mediante la utilización de un dinamómetro se determina experimentalmente la fuerza máxima que puede soportar el cable de nylon, tal como se muestra en la siguiente ilustración:



**Ilustración 33-3:** Obtención experimental de una fuerza

**Realizado por:** Asan, M., Quevedo, L., 2023

### Cálculo de la constante elástica del elastano experimentalmente

Se selecciona un martillo ubicándolo a un extremo del elastano y en el otro extremo el dinamómetro, el cual marcó una fuerza de 0.7kgf y una elongación del elastano de 3.89 cm.



**Ilustración 34-3:** Obtención de la constante elástica del elastano.

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

### Análisis en Ansys

En este programa informático se lleva a cabo la validación estática del prototipo de la prótesis, en la que se expondrá la prótesis a una carga específica con el fin de identificar la mayor deformación, el esfuerzo máximo y el factor de seguridad.

Con ese propósito, se escoge desde la colección de materiales el TPU que es destinado para la mano que contiene las dos articulaciones que se encuentran en la muñeca, mientras que se elige el PLA para el brazalete y los dedos.

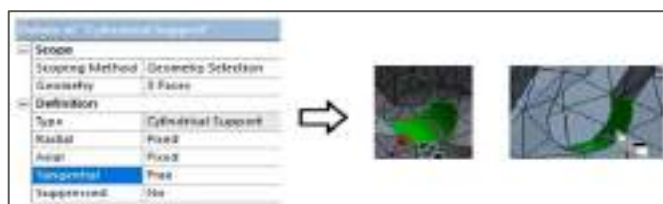
Se debe tomar en cuenta el terminal del dispositivo protésico, excluyendo los otros elementos como la conexión de los cables. La simulación abarca la posición prensil de la mano en la que se someterá a una carga.



**Ilustración 35-3:** Geometría protésica de análisis.

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

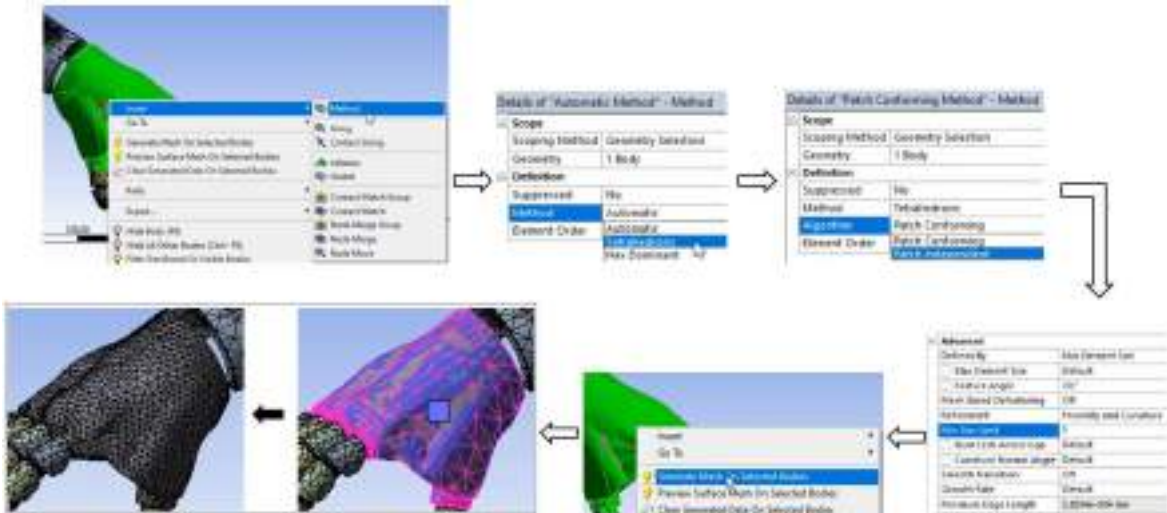
Posteriormente, se prosigue con el mallado automático, la ubicación de los contactos y soportes de tipo cilíndrico en cada una de sus articulaciones.



**Ilustración 36-3:** Ubicación de soportes en Ansys.

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

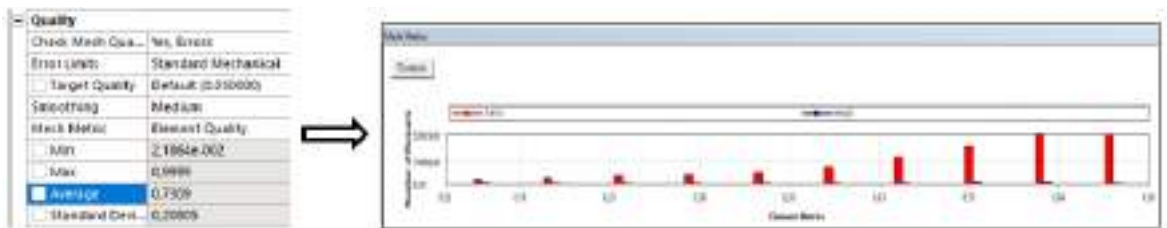
Se debe mejorar la malla automática en cada pieza por separado, considerando su compleja geometría. El proceso fue similar en todas las partes, con el fin de obtener un tamaño de malla mínimo que cumpla una calidad de malla aceptable mediante los siguientes parámetros.



**Ilustración 37-3:** Parámetros para refinación de malla

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

La calidad de mallado conseguida con el refinamiento es del 0.7309



**Ilustración 38-3:** Calidad de mallado

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

La aplicación de cargas se lo realizó de manera vectorial, es decir, mediante las componentes X, Y y Z. fueron ubicadas en la parte interna de la mano

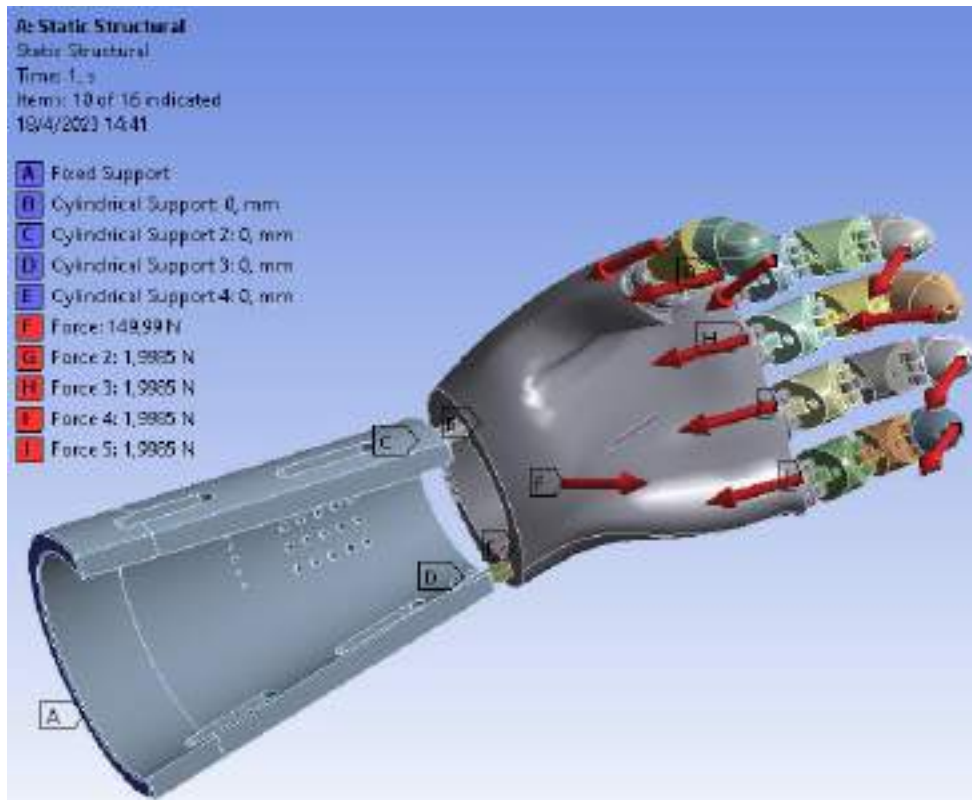


**Ilustración 39-3:** Ubicación de fuerzas

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023



De manera resumida, la totalidad de fuerzas aplicadas en la prótesis se muestran en la siguiente ilustración:



**Ilustración 40-3:** Total de cargas.

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

Una vez que se han establecido todos los requisitos del software, se procede a ejecutar el programa y a incluir los resultados deseados que se pretenden obtener.

### 3.6.1.8 Análisis cinemático

#### Grados de libertad



**Ilustración 41-3:** Análisis del mecanismo.

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

Mediante algebra compleja se obtiene:

$$\vec{r}_{OA} + \vec{r}_{AB} + \vec{r}_{BC} = \vec{r}_{OG} + \vec{r}_{GF} + \vec{r}_{FH} + \vec{r}_{HE} + \vec{r}_{ED} + \vec{r}_{DC}$$

Por lo tanto, las ecuaciones para la posición son las siguientes:

- Componente X:

$$r_{OA} \cos \theta_2 + r_{AB} \cos \theta_3 + r_{BC} \cos \theta_4 \\ = r_{OG} \cos 180^\circ + r_{GF} \cos 270^\circ + r_{FH} \cos 0^\circ + r_{HE} \cos \theta_2 + r_{ED} \cos \theta_3 + r_{DC} \cos \theta_4$$

- Componente Y:

$$r_{OA} \sin \theta_2 + r_{AB} \sin \theta_3 + r_{BC} \sin \theta_4 \\ = r_{OG} \sin 180^\circ + r_{GF} \sin 270^\circ + r_{FH} \sin 0^\circ + r_{HE} \sin \theta_2 + r_{ED} \sin \theta_3 + r_{DC} \sin \theta_4$$

Ecuación de la longitud de cable:

$$FH + HE + ED + DC = S$$

Análisis de los grados de libertad mediante la siguiente ecuación:

$$N^\circ \text{ Incógnitas} - N^\circ \text{ Ecuaciones} = \text{Grado de libertad}$$

$$4 - 3 = 1$$

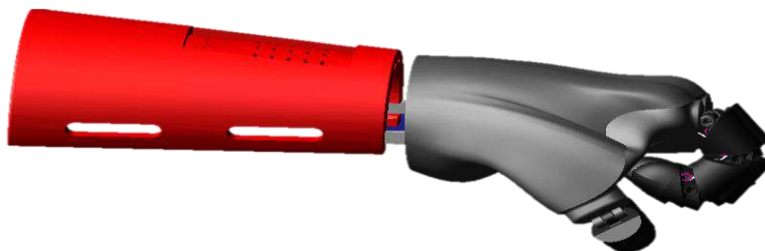
### Análisis en MSC Adams

En el software Adams se utilizó el módulo de cables y con ciertas configuraciones, tal como se muestra en las siguientes ilustraciones para una posición inicial y final.



**Ilustración 42-3:** Ubicación de los cables en los dedos.

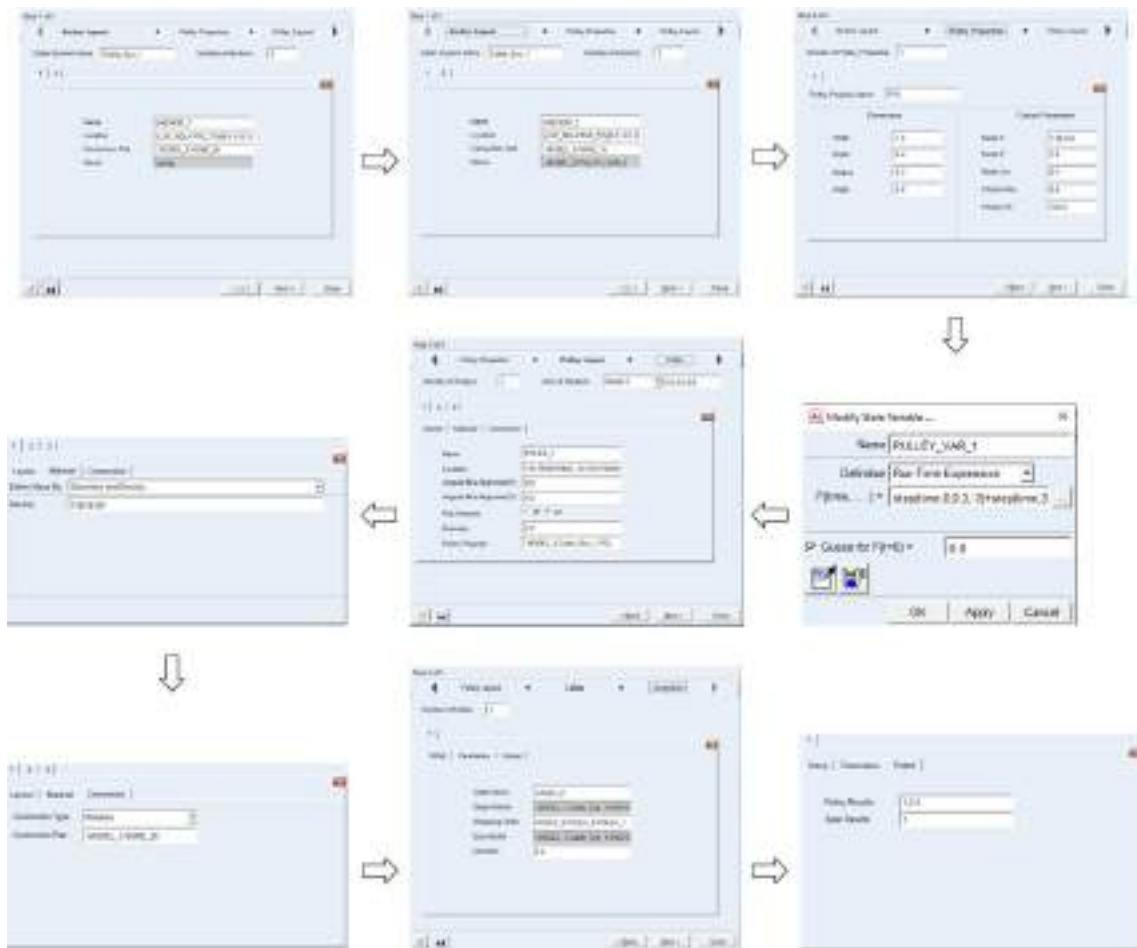
Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023



**Ilustración 43-3:** Posición final flexionando los dedos con el cable.

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

Los parámetros realizados en MSC Adams fueron los siguientes:

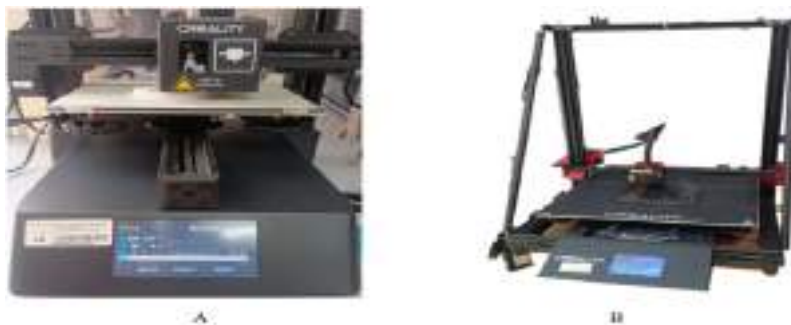


**Ilustración 44-3:** Secuencia de parámetros para Adams

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

### 3.6.1.9 Manufactura mediante impresión 3D

El proceso de fabricación del prototipo se realiza con ayuda de la tecnología FDM; con filamento en material TPU se fabricó la palma de la mano mediante la impresora Creality CP-01 cuyas especificaciones se detallan en el ANEXO A; sin embargo, con filamento en material PLA se fabricó la abrazadera y los dedos mediante la impresora Creality Cr-10 Max cuyas especificaciones se detallan en el ANEXO B.



**Ilustración 45-3:** Creality CP-01 (A), Creality CR 10 MAX (B)

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023



Se emplea diferentes colores de acuerdo con el tipo de filamento e impresora. Por lo cual, los tiempos de impresión son distintos en cada una de las piezas que se indica en la tabla 16-3.

**Tabla 16-3:** Tiempos de impresión de las componentes de la prótesis.

| Componente   | Consumo       |                | Tiempo de impresión<br>(hh:mm:ss) | Velocidad<br>(mm/s) | Temperaturas   |           |
|--|---------------|----------------|-----------------------------------|---------------------|----------------|-----------|
|  | (gr)          | (mm)           |                                   |                     | Extructor (°C) | Mesa (°C) |
| Muñón Parte 1  | 92.66         | 31068.1        | 13:46:00                          | 5                   | 225            | 0         |
| Muñón Parte 2  | 61.83         | 20729.2        | 10:16:00                          | 5                   | 225            | 0         |
| Mano   | 127.22        | 42655.1        | 24:02:00                          | 5                   | 235            | 0         |
| Brazalete de sujeción y Falanges (Proximal - Medio - Distal) | 15.09         | 5059.1         | 00:53:00                          | 40                  | 210            | 60        |
| Articulación mano - brazaletes                               | 0.15          | 250            | 00:37:00                          | 5                   | 225            | 0         |
| <b>TOTAL</b>   | <b>296.95</b> | <b>99761.5</b> | <b>49:34:00</b>                   |                     |                |           |

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023.

### 3.6.1.10 Construcción y ensamblaje de la prótesis

A continuación, se indica la construcción de la mano con los dedos



**Ilustración 46-3:** Construcción de la mano

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

En el brazaletes se construye un velcro que sirve de sujeción en el antebrazo



**Ilustración 47-3:** Brazalete de sujeción

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

La prótesis completa, es decir; la mano, los dedos y el brazaletes queda ensamblada de la siguiente forma:



**Ilustración 48-3:** Prototipo completo

**Realizado por:** Asan, M., Quevedo, L., 2023

La construcción del muñon se realiza por dos partes y para distinguirlo se imprime con dos colores diferentes.



**Ilustración 49-3:** Muñón Flexible

**Realizado por:** Asan, M., Quevedo, L., 2023

### 3.7 Análisis de costos

A continuación, se determina los valores presupuestarios de los materiales, mano de obra, equipos y herramientas

### 3.7.1 Costos directos

Se detallan en las tablas siguientes tablas:

**Tabla 17-3:** Costos de los materiales

| Ítem | Descripción                       | Unidad | Cantidad | Valor unitario (\$) | Costo total (\$) |
|------|-----------------------------------|--------|----------|---------------------|------------------|
| 1    | Rollo Filamento Flexible TPU      | kg     | 1        | 37                  | 37               |
| 2    | Rollo Filamento Rígido PLA        | kg     | 1        | 25                  | 25               |
| 3    | Rollo de hilo de Nylon            |        | 1        | 5                   | 5                |
| 4    | Resina epóxica                    | g      | 1        | 3                   | 3                |
| 5    | Tornillos M4                      |        | 5        | 1                   | 5                |
| 6    | Pines de 1/8 inch. (varilla 6011) |        | 14       | 0,5                 | 7                |
| 7    | Brazalete de cuero                |        | 1        | 5                   | 5                |
|      |                                   |        |          | <b>TOTAL</b>        | 87               |

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

**Tabla 18-3:** Costos de mano de obra

| Ítem | Descripción  | Horas -hombre | Costo por hora | Subtotal |
|------|--------------|---------------|----------------|----------|
| 1    | Impresión 3D | 4             | 10             | 40       |
| 2    | Escaneo 3D   | 2             | 10             | 20       |
|      |              |               | <b>TOTAL</b>   | 60       |

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

**Tabla 19-3:** Costos de equipos y herramientas

| Ítem | Descripción                          | Horas - equipo | Costo por hora | Subtotal |
|------|--------------------------------------|----------------|----------------|----------|
| 1    | Impresora FDM - Creality CP-01 (TPU) | 51             | 1,76           | 89,76    |
| 2    | Impresora FDM - Creality CR-10 (PLA) | 1              | 0,24           | 0,24     |
| 3    | Scanner SENSE-RS 3DSYSTEMS           | 2              | 25             | 50       |
|      |                                      |                | <b>TOTAL</b>   | 140      |

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

En la siguiente tabla se detalla los costos totales directos

**Tabla 20-3:** Costos directos totales

| Descripción                     | Total |
|---------------------------------|-------|
| Costo de materiales             | 87    |
| Costo de mano de obra           | 60    |
| Costo de equipos y herramientas | 140   |
| <b>Total</b>                    | 287   |

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

### 3.7.2 Costos indirectos

Se refiere a costos que tuvieron influencia de manera indirecta con la construcción de la prótesis el cual conlleva el costo ingenieril, transporte e imprevistos.

**Tabla 21-3:** Costos indirectos

| <b>Descripción</b> | <b>Costo (\$)</b> |
|--------------------|-------------------|
| Costo ingenieril   | 150               |
| Varios             | 50                |
| <b>TOTAL</b>       | <b>200</b>        |

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

### 3.7.3 Costos totales

Se emplea la suma de todos los costos directos e indirectos que ayudaron en la elaboración del prototipo de la prótesis.

**Tabla 11-3:** Costos totales

| <b>Tipo de costo</b> | <b>Valor total</b> |
|----------------------|--------------------|
| Costos directos      | 287                |
| Costos indirectos    | 200                |
| <b>Costo Total</b>   | <b>487</b>         |

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

## CAPÍTULO IV

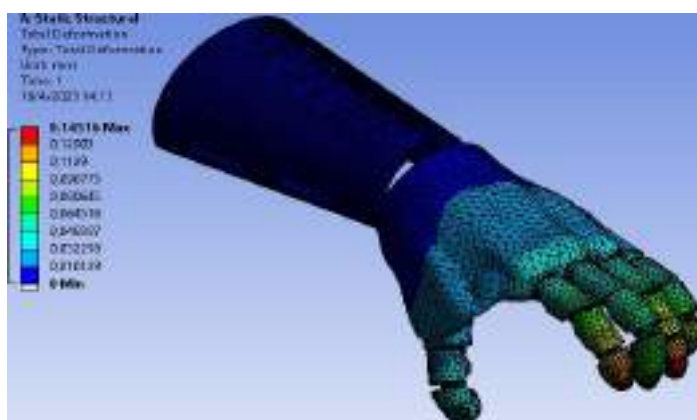
### 4 RESULTADOS

#### 4.1 Validación estructural

Los resultados obtenidos en el software ANSYS son de deformación total, esfuerzo elástico equivalente y factor de seguridad.

##### Deformación total

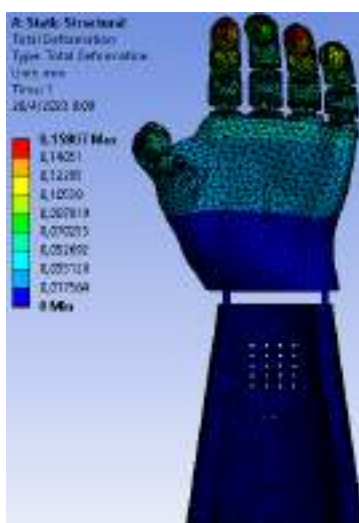
La máxima deformación que presenta la prótesis sin aplicar ninguna carga externa es de 0.15 mm, la parte crítica se da en las falanges distales de los dedos índice y anular.



**Ilustración 1-4:** Deformación total sin carga externa en ANSYS

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

La máxima deformación que presenta la prótesis con carga externa de 2kg sufrió una deformación máxima de 0.15 mm mostrando como parte crítica a las falanges distales de los dedos índice y anular.

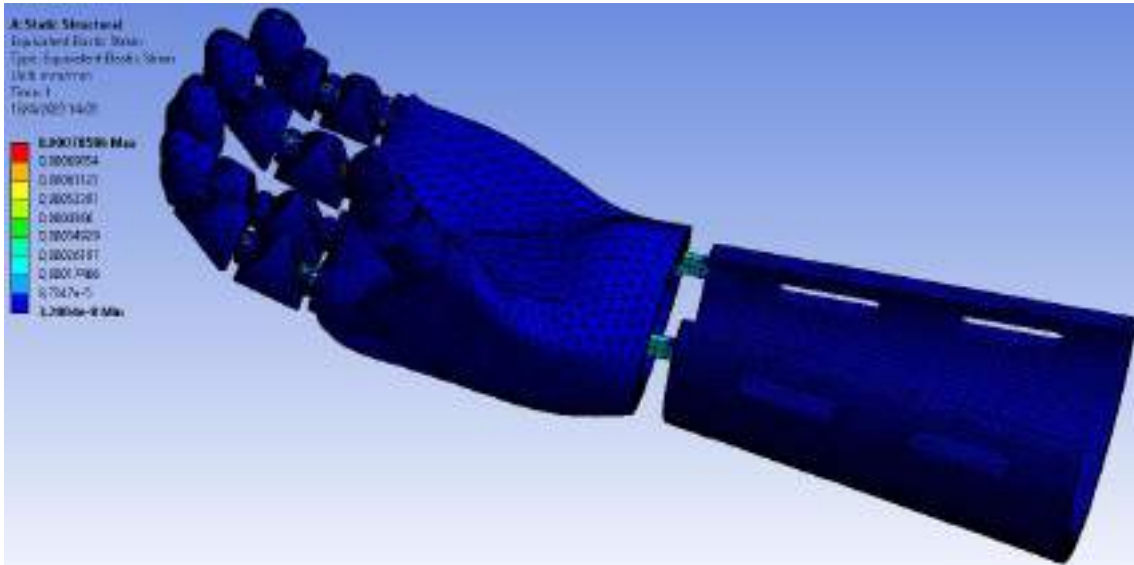


**Ilustración 2-4:** Deformación total con carga externa.

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

### Esfuerzo elástico equivalente

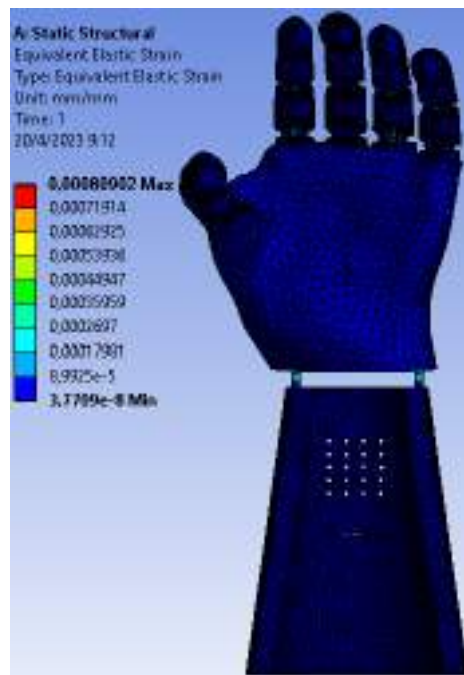
El valor que se muestra del esfuerzo elástico equivalente en la prótesis sin carga es de 0.00079 mm/mm.



**Ilustración 3-4:** Esfuerzo elástico equivalente sin carga externa en ANSYS

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

El valor que se muestra del esfuerzo elástico equivalente en la prótesis con carga externa presenta un valor de 0.000809 mm/mm, con ambos valores se validó el funcionamiento correcto de la prótesis.

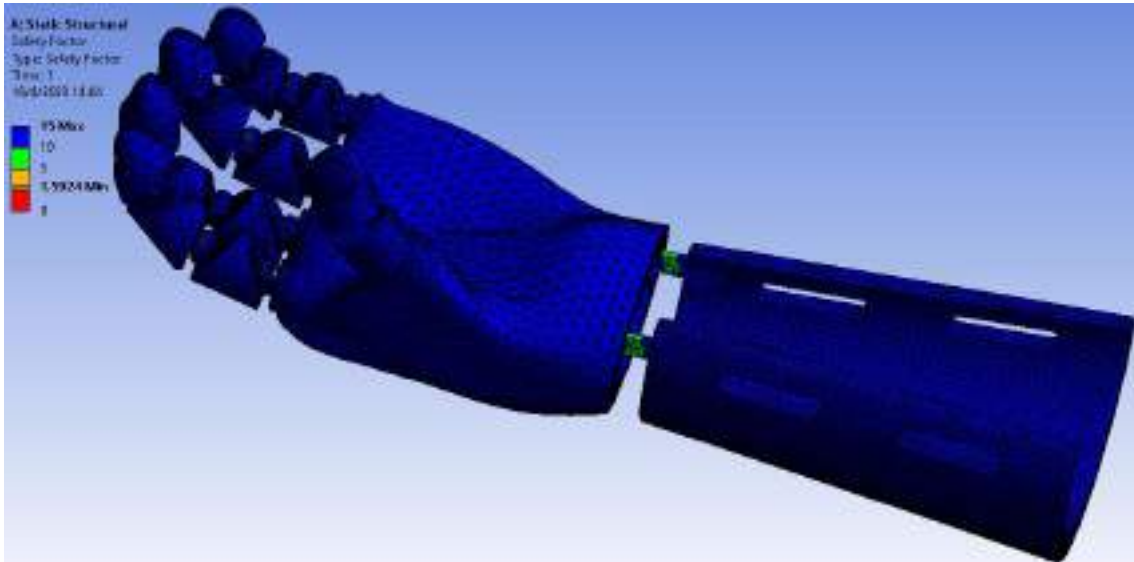


**Ilustración 4-4:** Esfuerzo elástico equivalente con carga externa

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

## Factor de seguridad

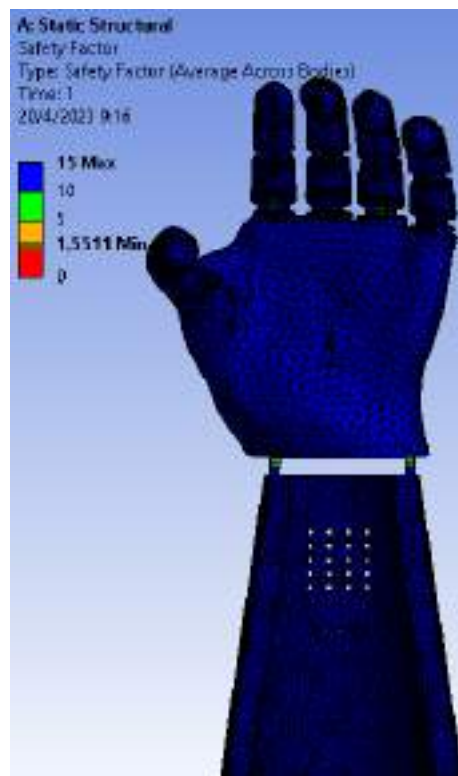
El parámetro más importante de este análisis estático es el factor de seguridad que se encuentra la prótesis, sin carga presenta un factor de 1.59.



**Ilustración 5-4:** Factor de seguridad sin carga externa en ANSYS.

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

El factor de seguridad con carga externa también cumple con un valor aceptable que es de 1.55



**Ilustración 6-4:** Factor de seguridad con carga externa.

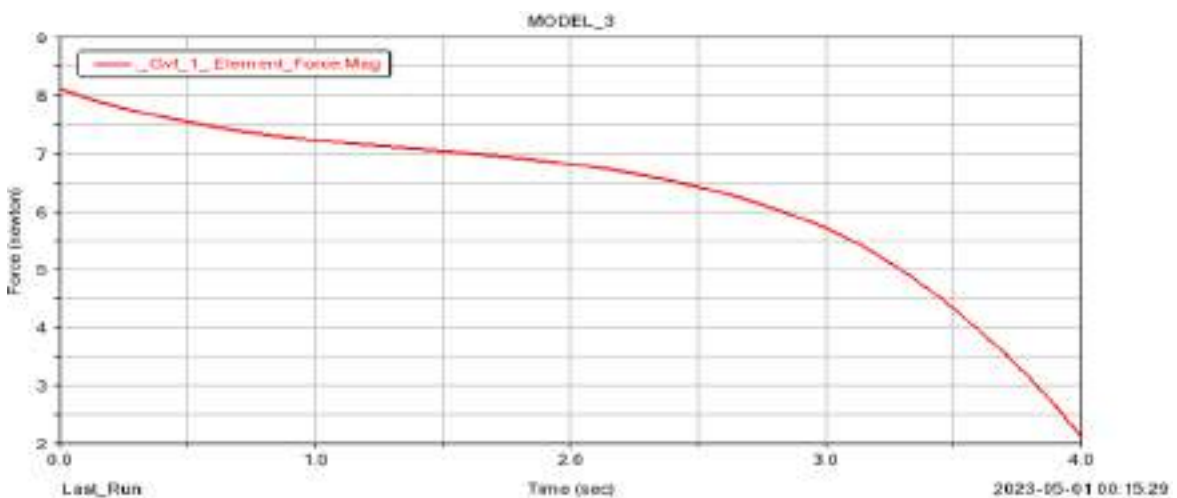
Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

## 4.2 Validación dinámica

Con el software MSC Adams que aplica el método MBD se realiza la validación, para eso se lleva a cabo la recopilación de todos los resultados obtenidos mediante el uso del módulo de cable en cada uno de los dedos.

### Análisis en el dedo meñique

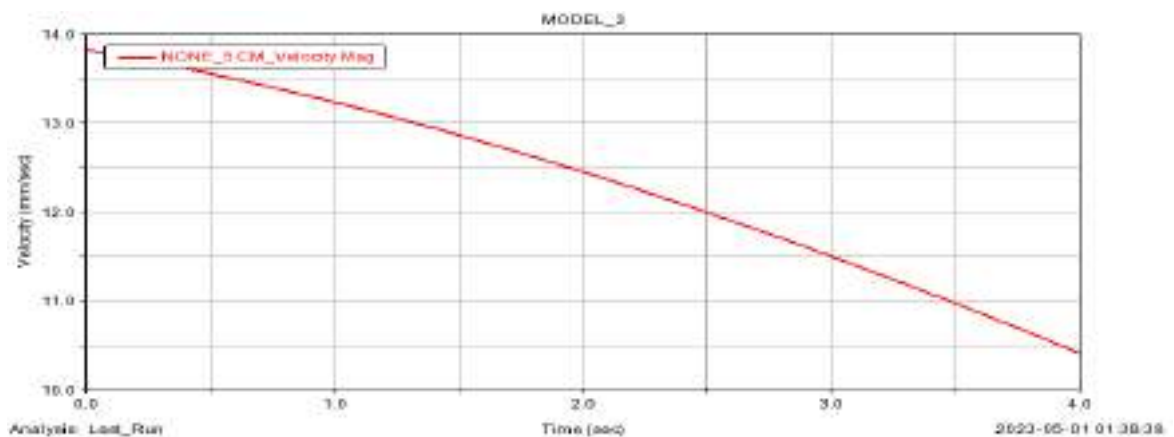
En la representación gráfica de la fuerza en función del tiempo se evidencia fuerzas bajas que parte de 8 N disminuyendo exponencialmente durante 4 segundos hasta llegar a una fuerza de 2 N, debido a que la velocidad angular especificada en los parámetros de Adams fue de 4 rad/s. Por otro lado, experimentalmente se determinó que la fuerza de agarre en cada cable es de 1.25kg.



**Ilustración 7-4:** Diagrama fuerza vs tiempo para el dedo meñique

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

A través de la ilustración 8-4 representando la velocidad en función del tiempo, se puede observar que la velocidad en el inicio del movimiento fue de 13.85 mm/s, mientras que en un lapso de 4 segundos la velocidad mínima registrada es de 10.4 mm/s. Este gráfico muestra una disminución de la velocidad a medida que transcurre el tiempo.

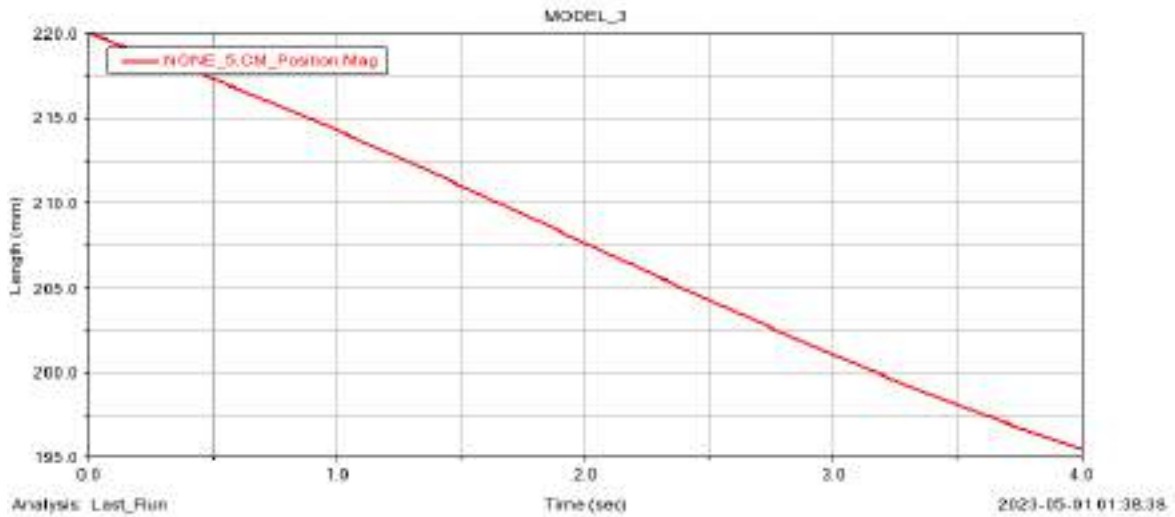


**Ilustración 8-4:** Diagrama velocidad vs tiempo para el dedo meñique

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023



La ilustración 9-4, que corresponde al gráfico de posición en función del tiempo, indica que la posición inicial del dedo es de 220 mm. Después de 4 segundos, se registra una posición mínima de 196 mm. Esto indica que el dedo se desplazó en una dirección tal que su posición disminuye a medida que transcurría el tiempo.

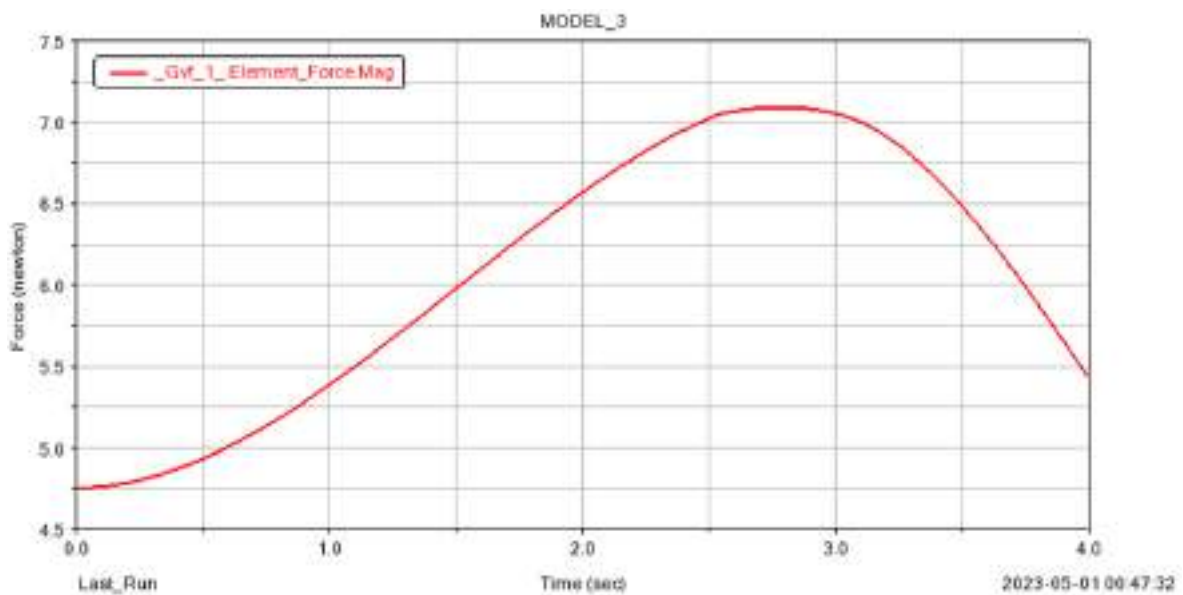


**Ilustración 9-4:** Diagrama posición vs tiempo para el dedo meñique

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

**Análisis en el dedo anular**

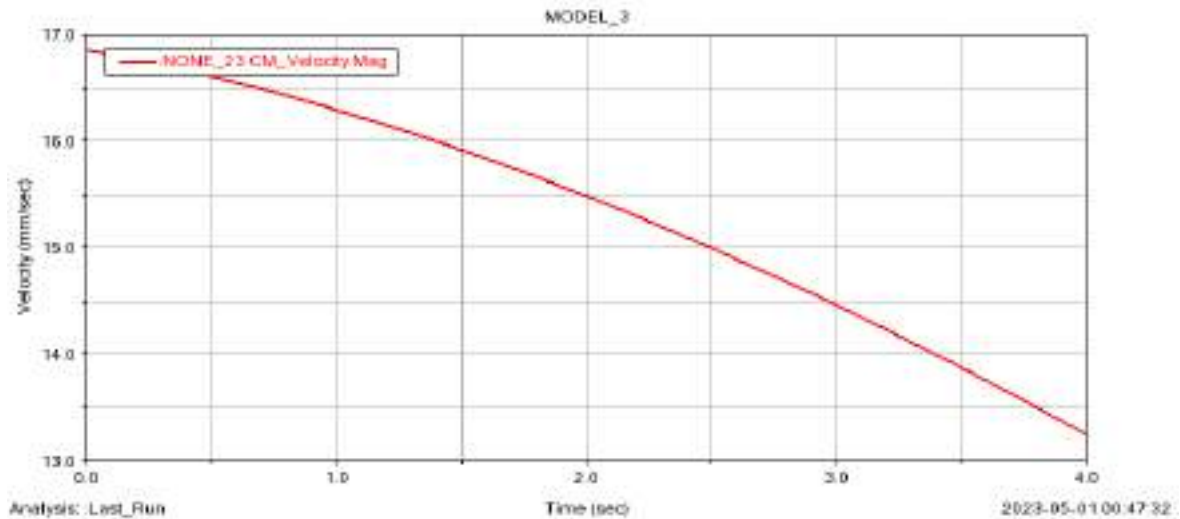
En la representación gráfica de la fuerza en función del tiempo se evidencia fuerzas bajas que parte de 4.75 N aumentado exponencialmente durante 2.75 segundos y llega a una fuerza de 7.1 N, pero luego empieza a disminuir la fuerza a un valor de 5.4 N, debido a que la velocidad angular especificada en los parámetros de Adams fue de 4 rad/s.



**Ilustración 10-4:** Diagrama fuerza vs tiempo para el dedo anular

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

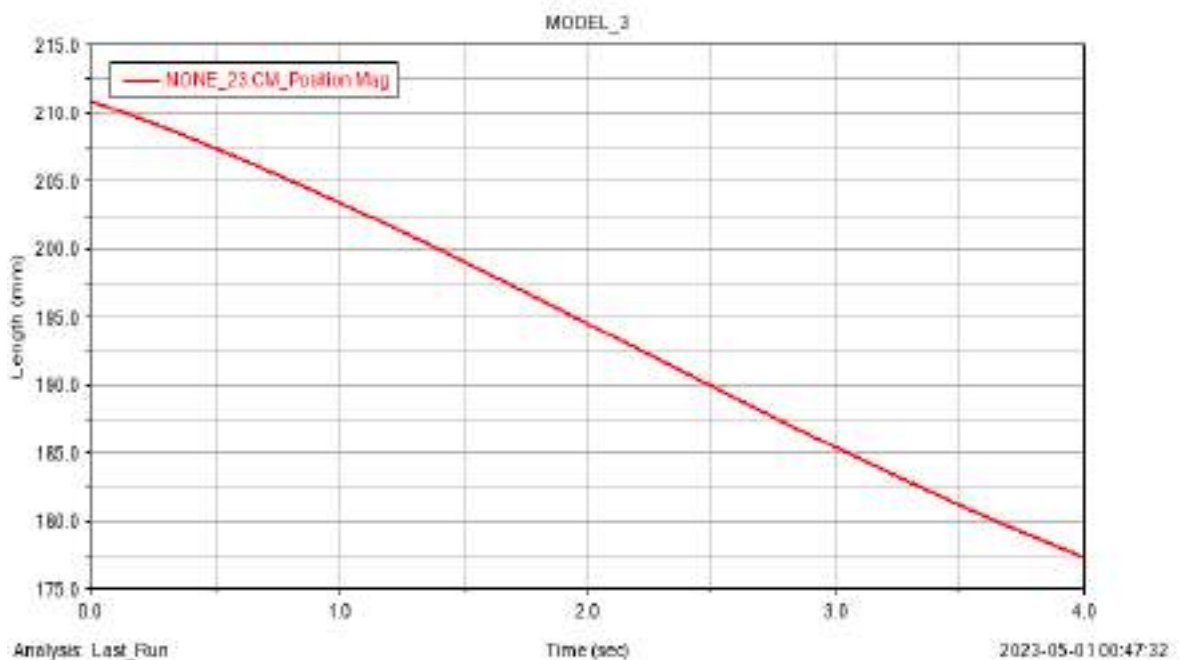
A través de la ilustración 11-4 representando la velocidad en función del tiempo, se puede observar que la velocidad en el inicio del movimiento es de 16.85 mm/s, mientras que en un lapso de 4 segundos la velocidad mínima registrada es de 13.3 mm/s. Este gráfico muestra una disminución de la velocidad a medida que transcurre el tiempo



**Ilustración 11-4:** Diagrama velocidad vs tiempo para el dedo anular

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

La ilustración 12-4, que corresponde al gráfico de posición en función del tiempo, indica que la posición inicial del dedo es de 211 mm. Después de 4 segundos, se registra una posición mínima de 177.5 mm. Esto indica que el dedo se desplazó en una dirección tal que su posición disminuye a medida que transcurre el tiempo.

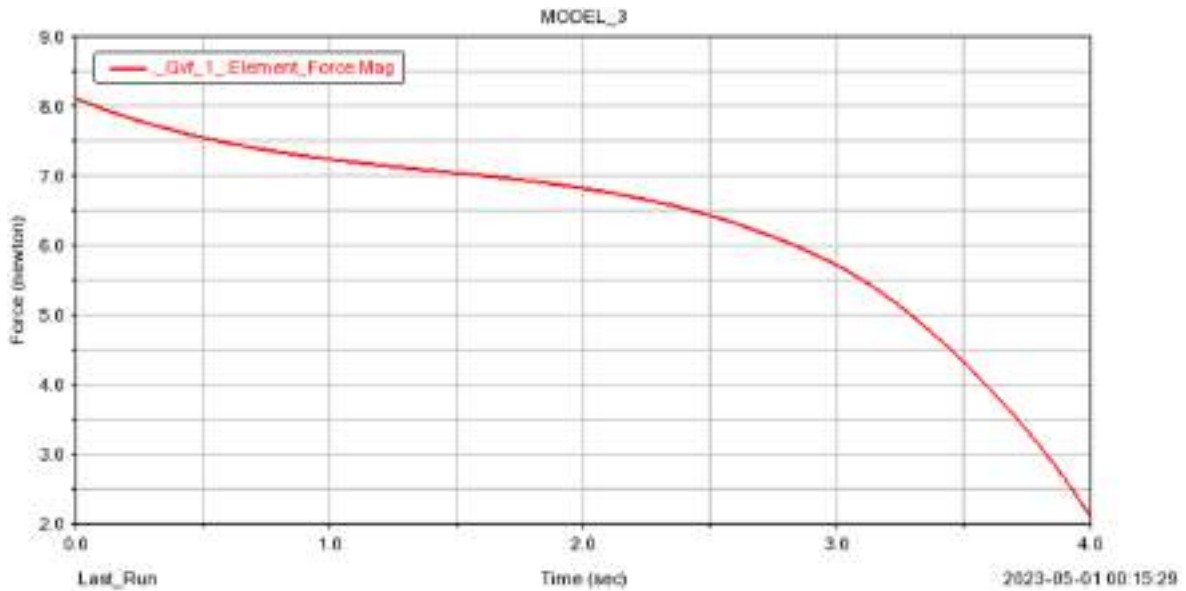


**Ilustración 12-4:** Diagrama posición vs tiempo para el dedo anular

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

### Análisis en el dedo medio

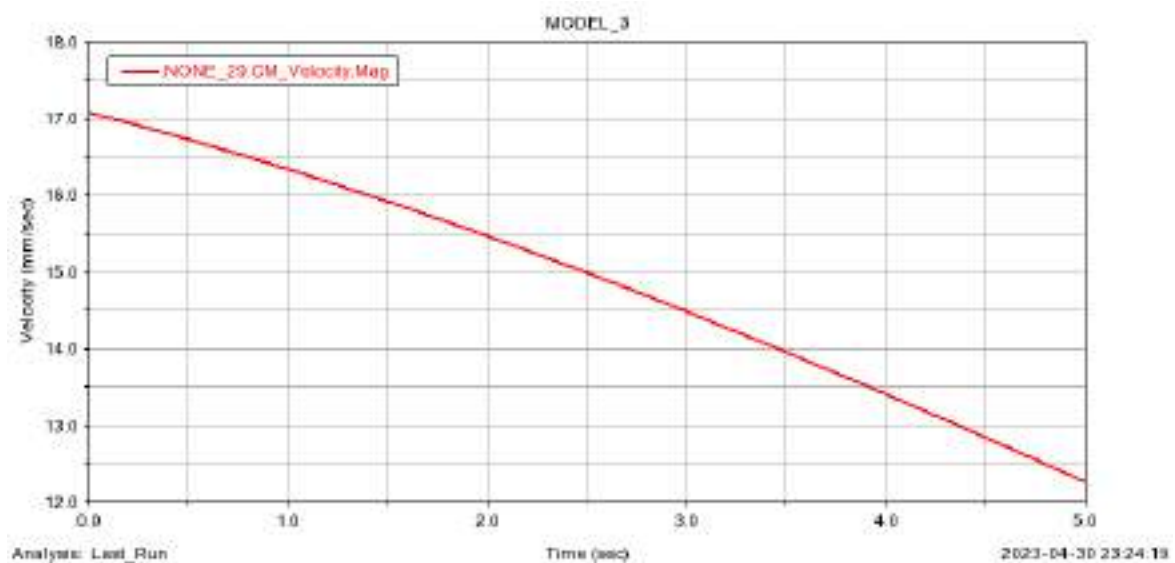
En la representación gráfica de la fuerza en función del tiempo se evidencia fuerzas bajas que parte de 8.1 N disminuyendo exponencialmente durante 4 segundos hasta llegar a una fuerza de 2 N, debido a que la velocidad angular especificada en los parámetros de Adams fue de 4 rad/s.



**Ilustración 13-4:** Diagrama fuerza vs tiempo para el dedo medio

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

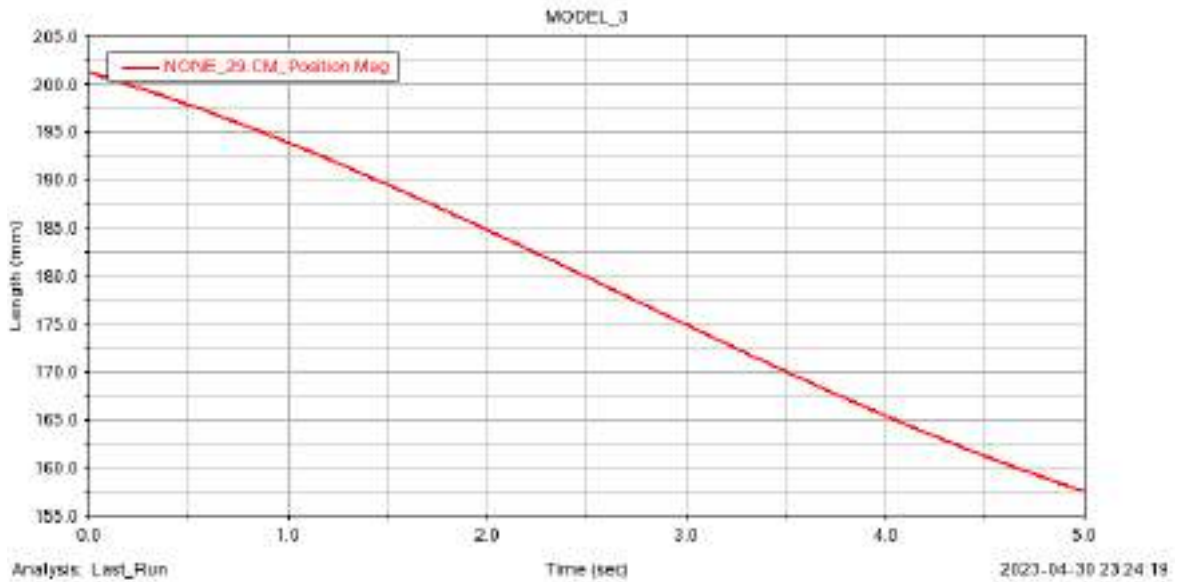
A través de la ilustración 14-4 representando la velocidad en función del tiempo, se pudo observar que la velocidad en el inicio del movimiento fue de 17.1 mm/s, mientras que en un lapso de 5 segundos la velocidad mínima registrada fue de 12.3 mm/s. Este gráfico muestra una disminución de la velocidad a medida que transcurre el tiempo



**Ilustración 14-4:** Diagrama velocidad vs tiempo para el dedo medio

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

La ilustración 15-4, que corresponde al gráfico de posición en función del tiempo, indica que la posición inicial del dedo es de 202 mm. Después de 5 segundos, se registra una posición mínima de 157.5 mm. Esto indica que el dedo se desplazó en una dirección tal que su posición disminuye a medida que transcurre el tiempo.

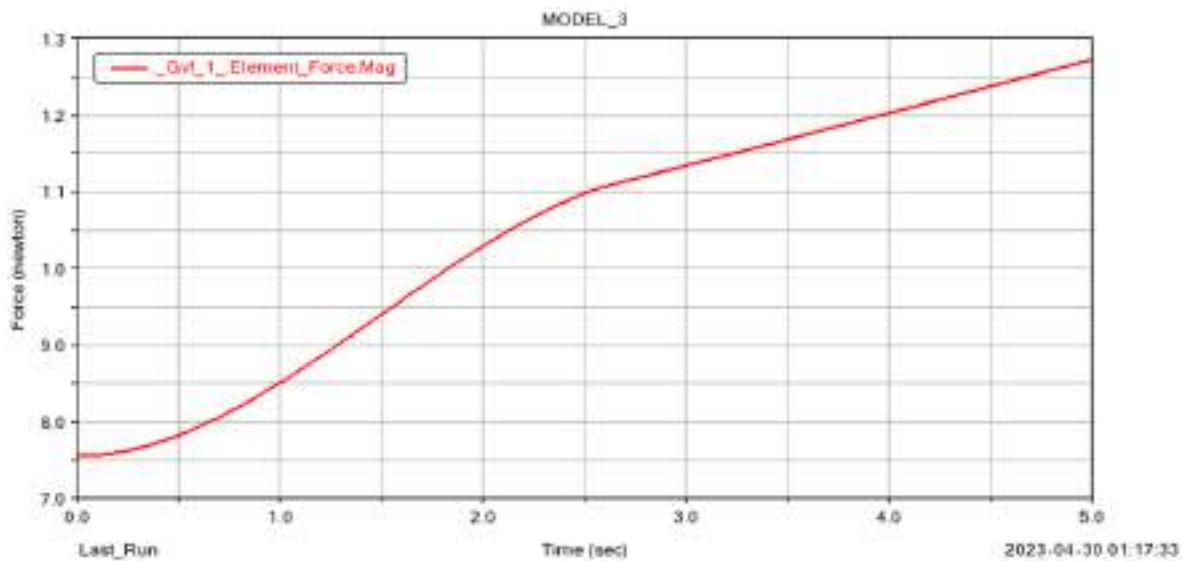


**Ilustración 15-4:** Diagrama posición vs tiempo para el dedo medio

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

**Análisis en el dedo índice**

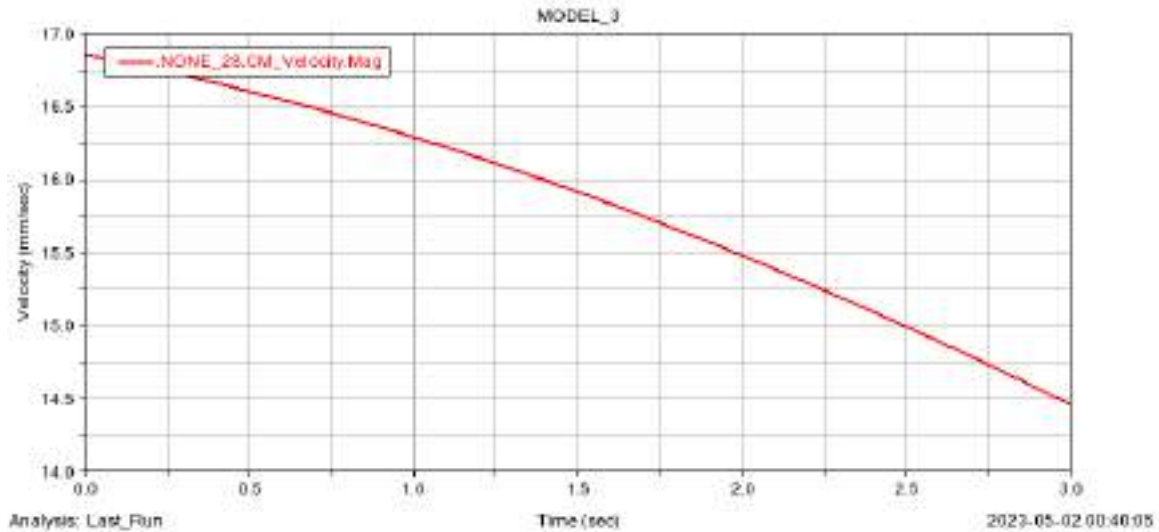
En la representación gráfica de la fuerza en función del tiempo se evidencia fuerzas bajas que parte de 7.6 N aumentando exponencialmente durante 5 segundos hasta llegar a una fuerza de 12.75 N, debido a que la velocidad angular especificada en los parámetros de Adams fue de 4 rad/s.



**Ilustración 16-4:** Diagrama fuerza vs tiempo para el dedo índice

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

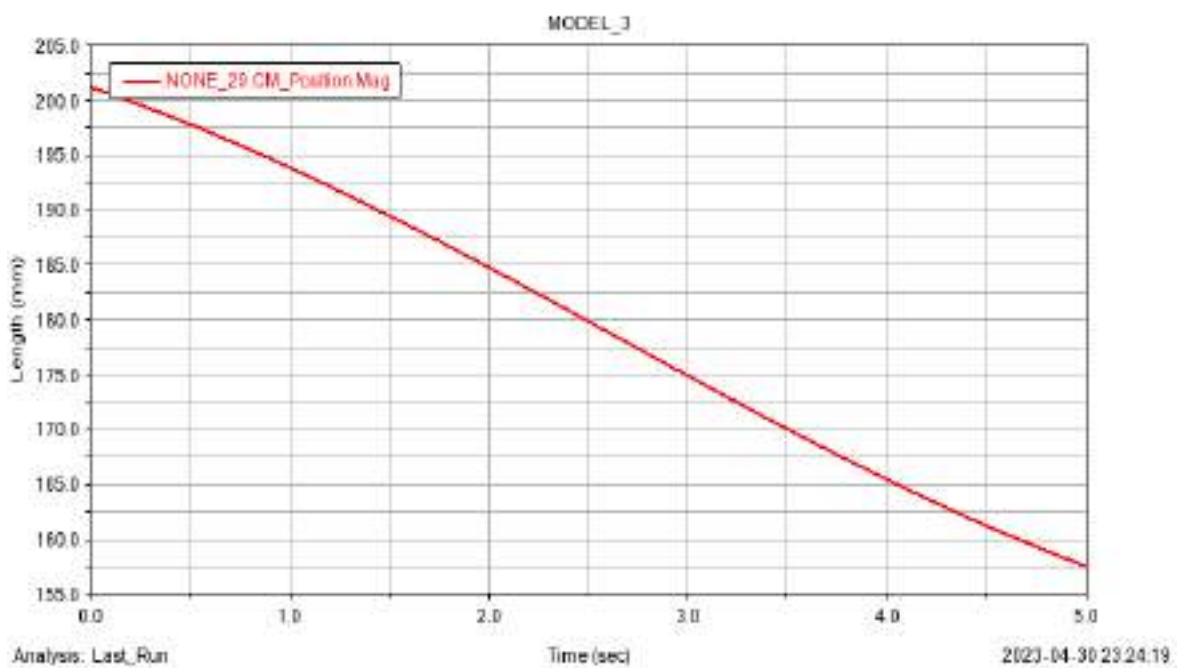
A través de la ilustración 17-4 representando la velocidad en función del tiempo, se puede observar que la velocidad en el inicio del movimiento es de 16.8 mm/s, mientras que en un lapso de 3 segundos la velocidad mínima registrada es de 14.5 mm/s. Este gráfico muestra una disminución de la velocidad a medida que transcurre el tiempo.



**Ilustración 17-4:** Diagrama velocidad vs tiempo para el dedo índice

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

La ilustración 18-4, que corresponde al gráfico de posición en función del tiempo, indica que la posición inicial del dedo es de 201.5 mm. Después de 5 segundos, se registró una posición mínima de 157.5 mm. Esto sugiere que el dedo se desplazó en una dirección tal que su posición disminuye a medida que transcurre el tiempo.

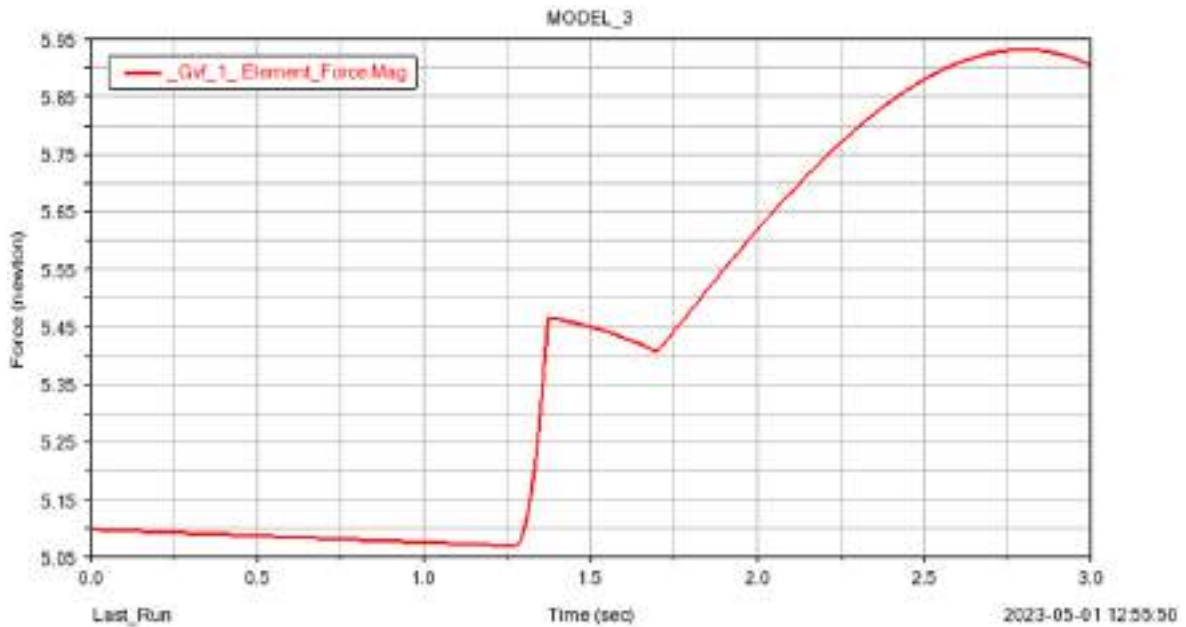


**Ilustración 18-4:** Diagrama posición vs tiempo para el dedo índice

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

### Análisis en el dedo pulgar

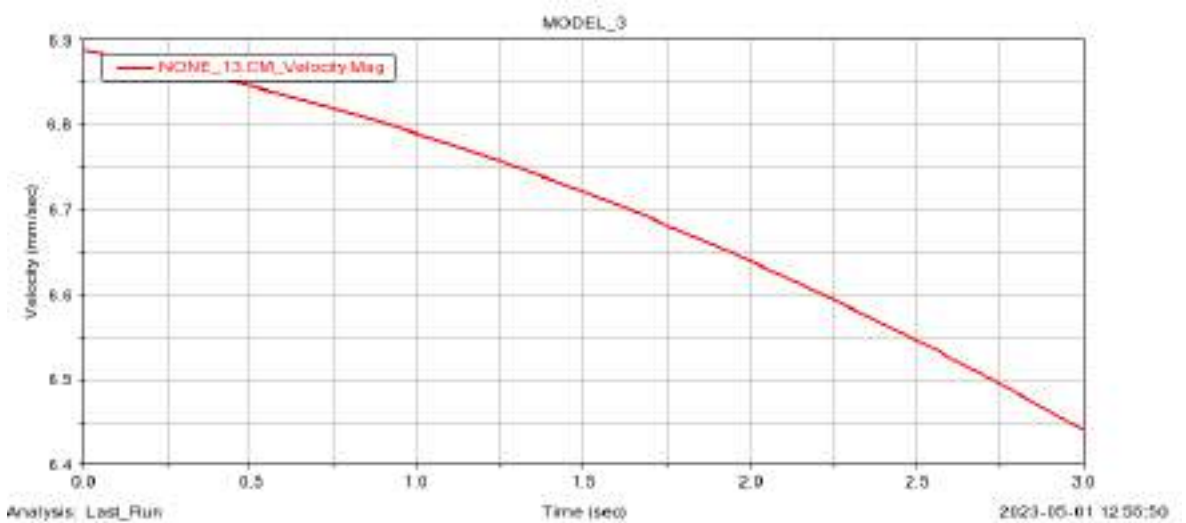
En la representación gráfica de la fuerza en función del tiempo se evidencia fuerzas bajas que parte de 5.1 N con cierto comportamiento diferente a los 4 dedos analizados anteriormente. Durante 3 segundos se obtiene una fuerza de 5.9 N, debido a que la velocidad angular especificada en los parámetros de Adams fue de 4 rad/s.



**Ilustración 19-4:** Diagrama fuerza vs tiempo para el dedo pulgar

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

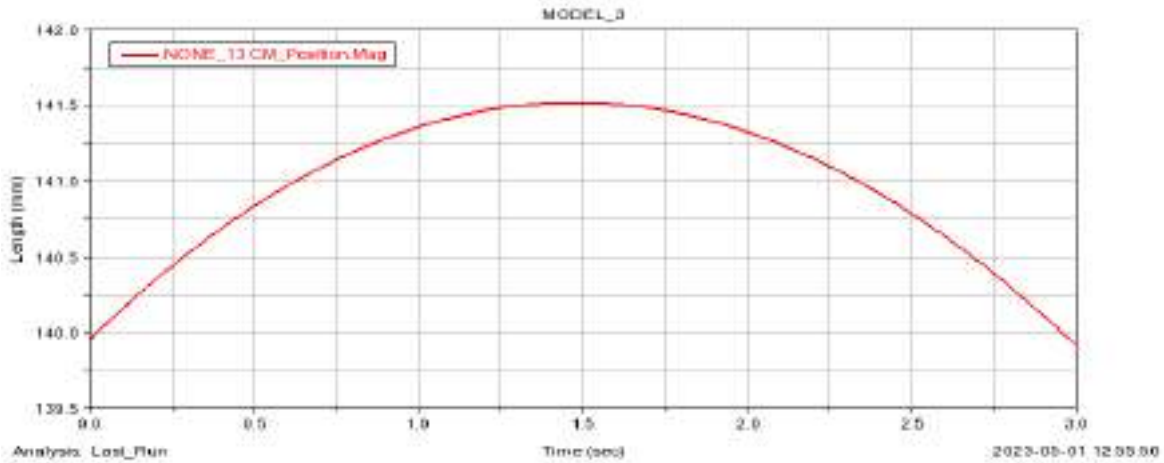
A través de la ilustración 20-4 representando la velocidad en función del tiempo, se puede observar que la velocidad en el inicio del movimiento fue de 6.89 mm/s, mientras que en un lapso de 3 segundos la velocidad mínima registrada es de 6.44 mm/s. Este gráfico muestra una disminución de la velocidad a medida que transcurre el tiempo.



**Ilustración 20-4:** Diagrama velocidad vs tiempo para el dedo pulgar

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

La ilustración 21-4, que corresponde al gráfico de posición en función del tiempo con una duración de 3 segundos, se indica que la posición inicial del dedo es de 139.9 mm. Después de 1.5 segundos, se registró una posición máxima de 141.6 mm. Esto sugiere que el dedo se desplaza en una dirección parabólica tal que su posición aumenta hasta los 1.5 segundos y disminuye en los otros 1.5 segundos.



**Ilustración 21-4:** Diagrama posición vs tiempo para el dedo pulgar

Realizado por: Asan, M., Quevedo, L., 2023

### 4.3 Prueba de agarre

Una vez ensamblado los diversos componentes de la prótesis hasta que sea funcional, se llevaron a cabo múltiples pruebas para evaluar su ergonomía y rendimiento. En términos de ergonomía, la prótesis se ajusta correctamente a un brazo adulto y no obstaculiza significativamente la movilidad normal. También se adapta adecuadamente al antebrazo mediante el brazaletes con un velcro, lo que permite un mayor ajuste al brazo del usuario en su conjunto. En cuanto a su funcionamiento, la prótesis cumple con las funciones de agarre de objetos basadas en el protocolo según la norma AHAP, y a continuación se muestra una tabla resumida con los resultados obtenidos.

**Tabla 12-4:** Resultados de la prueba de agarre

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**



**Facultad: Mecánica**

**Escuela: Mecánica**



**PRÓTESIS PARA AMPUTACIÓN TRANSMETACARPAL  
CONTROLADA POR MUÑÓN Y CABLES**

**The Anthropomorphic Hand Assessment Protocol**

**Breve descripción:** El protocolo se divide en 26 tareas aplicables a manos antropomórficas robóticas o protésicas. El AHAP permite cuantificar el antropomorfismo y la funcionalidad de las manos artificiales a través de un Grasping Ability Score (GAS) numérico.

**Parámetros de evaluación:** Se realizaron 5 pruebas en cada tipo de agarre. Si la prótesis cumple 3 de los 5 ensayos, se considera que la prótesis es funcional para el tipo de agarre evaluado.

DOI: 10.1016/j.robot.2019.103259 - AHAP  
10.1109/CVPR.2015.7298637 - GRASP TYPE

|                                     |
|-------------------------------------|
| Índice de aprobación de la prótesis |
| 60%                                 |



| Grasp Type                          | Objects and Tasks Order   |                                     |   |                                     |   |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |
|-------------------------------------|---|-------------------------------------|---|-------------------------------------|---|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Gancho</b>                       |    | <b>OK</b>                           |    | <b>OK</b>                           |    | <b>OK</b>                           |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |
| average valuation                   |   |                                     |   |                                     |   |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |
| 80,00%                              | Test 1  | Test 2                              | Test 3  | Test 4                              | Test 5  | Test 1                              | Test 2                              | Test 3                              | Test 4                              | Test 5                              | Test 1                              | Test 2                              | Test 3                              | Test 4                              | Test 5                              |
|                                     | <input type="checkbox"/>  | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/>   | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/>   | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| <b>Agarre Esférico</b>              |    | <b>OK</b>                           |    | <b>OK</b>                           |    | <b>OK</b>                           |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |
| average valuation                   |   |                                     |   |                                     |   |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |
| 86,67%                              | Test 1  | Test 2                              | Test 3  | Test 4                              | Test 5  | Test 1                              | Test 2                              | Test 3                              | Test 4                              | Test 5                              | Test 1                              | Test 2                              | Test 3                              | Test 4                              | Test 5                              |
|                                     | <input checked="" type="checkbox"/>   | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/>   | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/>   | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| <b>Agarre Trípode</b>               |    | <b>OK</b>                           |    | <b>OK</b>                           |    | <b>OK</b>                           |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |
| average valuation                   |   |                                     |   |                                     |   |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |
| 80,00%                              | Test 1  | Test 2                              | Test 3  | Test 4                              | Test 5  | Test 1                              | Test 2                              | Test 3                              | Test 4                              | Test 5                              | Test 1                              | Test 2                              | Test 3                              | Test 4                              | Test 5                              |
|                                     | <input type="checkbox"/>  | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/>   | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/>   | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| <b>Agarre con Extensión</b>         |    | <b>X</b>                            |    | <b>OK</b>                           |    | <b>OK</b>                           |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |
| average valuation                   |   |                                     |   |                                     |   |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |
| 66,67%                              | Test 1  | Test 2                              | Test 3  | Test 4                              | Test 5  | Test 1                              | Test 2                              | Test 3                              | Test 4                              | Test 5                              | Test 1                              | Test 2                              | Test 3                              | Test 4                              | Test 5                              |
|                                     | <input type="checkbox"/>  | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>  | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>  | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| <b>Agarre Cilíndrico</b>            |  | <b>OK</b>                           |  | <b>OK</b>                           |  | <b>OK</b>                           |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |
| average valuation                   |   |                                     |   |                                     |   |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |
| 100,00%                             | Test 1  | Test 2                              | Test 3  | Test 4                              | Test 5  | Test 1                              | Test 2                              | Test 3                              | Test 4                              | Test 5                              | Test 1                              | Test 2                              | Test 3                              | Test 4                              | Test 5                              |
|                                     | <input checked="" type="checkbox"/>   | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/>   | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/>   | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| <b>Agarre Lateral</b>               |  | <b>X</b>                            |  | <b>X</b>                            |  | <b>X</b>                            |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |
| average valuation                   |   |                                     |   |                                     |   |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |
| 13,33%                              | Test 1  | Test 2                              | Test 3  | Test 4                              | Test 5  | Test 1                              | Test 2                              | Test 3                              | Test 4                              | Test 5                              | Test 1                              | Test 2                              | Test 3                              | Test 4                              | Test 5                              |
|                                     | <input type="checkbox"/>  | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>  | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/>   | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |
| <b>Pulp Pinch</b>                   |  | <b>X</b>                            |  | <b>X</b>                            |  | <b>X</b>                            |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |
| average valuation                   |   |                                     |   |                                     |   |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |
| 13,33%                              | Test 1  | Test 2                              | Test 3  | Test 4                              | Test 5  | Test 1                              | Test 2                              | Test 3                              | Test 4                              | Test 5                              | Test 1                              | Test 2                              | Test 3                              | Test 4                              | Test 5                              |
|                                     | <input type="checkbox"/>  | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>  | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>  | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |
| <b>Presionar con el dedo Índice</b> |  | <b>X</b>                            |   |                                     |   |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |
| average valuation                   |   |                                     |   |                                     |   |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |
| 20,00%                              | Test 1  | Test 2                              | Test 3  | Test 4                              | Test 5  |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |
|                                     | <input type="checkbox"/>  | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>  | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>  |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |
| <b>Agarre tipo Plataforma</b>       |  | <b>OK</b>                           |   |                                     |   |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |
| average valuation                   |   |                                     |   |                                     |   |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |
| 80,00%                              | Test 1  | Test 2                              | Test 3  | Test 4                              | Test 5  |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |
|                                     | <input checked="" type="checkbox"/>   | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/>   | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/>   |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |



## CONCLUSIONES

De las 40 referencias bibliográficas revisadas la más elocuente fue el tema The Anthropomorphic Hand Assessment Protocol (AHAP) porque ayudó a la validación del funcionamiento del prototipo de la prótesis mecánica.

La matriz QFD generada mejoró la interpretación en cuanto a las necesidades del cliente siendo la ergonomía, antropomorfismo, peso, resistencia y costo.

De acuerdo con la matriz morfológica se determinó como resultado la opción 2 la cual consta de material el uso del TPU – muñón – nylon – cable por dedo – grado de libertad 1 – deslizador – pin – cinta velcro – material de retorno flexible (elastano), donde el costo es menor y posee una mayor flexibilidad.

Mediante el análisis cinemático del software se determinó una velocidad máxima de 17.1 mm/s en el dedo medio y un desplazamiento funcional de 211 mm en el medio anular.

Experimentalmente se obtuvo una fuerza del cable de 1.25 kg (12.3 N) y con los resultados obtenidos de la simulación de fuerzas en ADAMS, se validó este dato con el dedo índice el cual alcanzó el valor de 12.7 N.

De acuerdo con la simulación computacional un criterio es el factor de seguridad que fue de 1.59.

Se llevó a cabo un análisis analítico para determinar la fuerza del elastano, obteniéndose un valor de 8 N. Además, se utilizó un software de simulación para generar los datos requeridos y así validar esta fuerza.

La norma AHAP fue de vital importancia para la elaboración del protocolo de pruebas obteniendo un índice de aprobación del 60% donde se observa que los mejores agarres son el cilíndrico, esférico, gancho, plataforma, sin embargo, no cumplen satisfactoriamente con los siguientes agarres lateral, punch, presionar el dedo índice.

En la impresión 3D se utilizó PLA y TPU con un valor total de masa de 0.3 kg, pero una vez ensamblada incluido el velcro obtuvo una masa de 0.4 kg sin embargo este pequeño incremento no relevante en los costos totales.

## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda la implementación de un arnés conectado desde los hombros hasta los dedos de la prótesis mediante un sistema de argolla cable puesto que experimentalmente se logra aumentar la capacidad de carga hasta 3.5 kg.

Se recomienda una prueba de al menos dos a tres meses para determinar la biocompatibilidad, el peso entre el paciente y la prótesis

Se recomienda ensayar con un modelo de cable polímero sintético para eliminar el eliminar la utilización del elemento de retorno (elastano)

Ensayar una prótesis con grafeno para tener mayor maleabilidad y un menor peso.

## BIBLIOGRAFÍA

**3DNATIVES.** *Escáner 3D Sense 3D Systems : Precio, características, actualidad* [en línea]. [Consulta: 8 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.3dnatives.com/3D-compare/es/escaneres-3d/sense/>.

**ADMACH.** *Adams/Machinery A Powerful Simulation Suite for Mechanical Drive Systems* [en línea]. [Consulta: 8 febrero 2023]. Disponible en: [www.mscsoftware.com](http://www.mscsoftware.com).

**ALKHATIB, F.; MAHDI, E. & CABIBIHAN, J.** “Diseño y análisis de juntas flexibles para una mano protésica robusta impresa en 3D”. *IEEE Ingeniería en Medicina y Biología Sociedad* [en línea], 2019, (Canadá) pp. 784-789. [Consulta: 1 febrero 2023]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31374726/>

**ANDERL, R et al.** “Additive Manufacturing” *ResearchGate* [en línea], 2017, (Alemania). ISBN 9783804736771. [Consulta: 8 febrero 2023]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/318787615\\_Additive\\_Manufacturing](https://www.researchgate.net/publication/318787615_Additive_Manufacturing)

**ANSYS.** *Introduction to ANSYS Meshing* [en línea]. 2023. [Consulta: 1 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.ansys.com/products/structures>

**AUTODESK.** *Buy Autodesk Software | Get Prices & Buy Online | Official Autodesk Store* [en línea]. 2023. [Consulta: 8 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.autodesk.com/products>

**AZEVEDO, A.** *Método dos elementos finitos* [en línea]. 2003. [Consulta: 8 febrero 2023]. Disponible en: [https://civil.fe.up.pt/pub/apoio/ano5/aa/livro\\_mef\\_aa.htm](https://civil.fe.up.pt/pub/apoio/ano5/aa/livro_mef_aa.htm)

**BAUCHAU, O.** *Flexible Multibody Dynamics* [en línea]. Ontario – Canadá: Springer Dordrecht Heidelberg London New York, 2011. [Consulta: 8 febrero 2023]. Disponible en: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-007-0335-3>

**CAJAS, H.** Digitalización de la nube de puntos 3d generada por el scanner picza LPX-60 para el modelamiento y manufactura de productos industriales mediante algoritmo básico de MATLAB y software libre MESHLAB (Trabajo de titulación). [En línea]. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Ingeniería Mecánica. Sangolquí – Ecuador. 2016. pp. 40-50 [Consulta: 8 febrero 2023]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/12056>

**CANO, A. & SERRANO, Á.** “Impresión 3D por modelado por deposición fundida: Manejo, funcionamiento y aplicaciones biomédicas”. *Nereis. Interdisciplinary Ibero-American Journal of Methods. Modelling and Simulation* [en línea], 2021, (España) pp. 227-238. [Consulta: 1 febrero 2023]. ISSN 1888-8550. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8171750>

**CARRETERO, J. & GARCÍA, H.** Fabricación, validación y rediseño de un socket autoajustable a nivel transfemoral (Trabajo de titulación). [En línea]. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Mecánica. Cd. Mx. – México. 2016. pp. 5-22 [Consulta: 9 febrero 2023]. Disponible en: [http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/10203/TESIS\\_%20Ivan%20Carretero.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/10203/TESIS_%20Ivan%20Carretero.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

**CELIGÜETA, J.** *Método de los Elementos Finitos para Análisis Estructural* [en línea]. 4a Edición. San Sebastián – España: UNICOPIA C.B.M. Lardizábal, 2011. [Consulta: 8 febrero 2023]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/83570224.pdf>

**CLARA, L et al.** “Repercusión Ocupacional de las Amputaciones Traumáticas en Dedos de la Mano por Accidente de Trabajo”. *Medicina y Seguridad del trabajo* [en línea], 2009, (Bolivia) pp. 41-48. [Consulta: 1 febrero 2023]. Disponible en: <https://scielo.isciii.es/pdf/mesetra/v55n217/original4.pdf>

**DÍAZ, A.** Métodos de mallado y algoritmos adaptativos en dos y tres dimensiones para la resolución de problemas electromagnéticos cerrados mediante el método de los elementos finitos (Trabajo de titulación). (Doctoral) [En línea]. Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Comunicaciones, Telecomunicaciones. Valencia – España. 2000. pp. 17-59 [Consulta: 8 febrero 2023]. Disponible en: <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/772/adm.pdf;jsessionid=4941C7B284ECCF257AF04AC4C1FA5C87?sequence=1>

**DÍAZ, I.** Diseño y construcción de un socket de miembro superior con suspensión ajustable (Trabajo de titulación). (Maestría) [En línea]. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Mecatrónica. Cd. Mx. – México. 2008. pp. 30-80 [Consulta: 9 febrero 2023]. Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2531/nietodiazlavana.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**FRÍAS, E.** Aportaciones al estudio de las maquinas eléctricas de flujo axial mediante la aplicación del método de los elementos finitos (Trabajo de titulación). (Doctorado) [En línea]. Universidad de

Catalunya, Departament d'Enginyeria Elèctrica, Ingeniería Industrial. Barcelona – España. 2004. pp. 110-140 [Consulta: 8 febrero 2023]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/93606>

**GÓMEZ, S.** Mallado y simulación CFD de automóvil (Trabajo de titulación). (Maestría) [En línea]. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona, Ingeniería de Automoción. Barcelona – España. 2017. pp. 48-65 [Consulta: 8 febrero 2023]. Disponible en: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/108947/Mallado\\_y\\_simulacion\\_CFD\\_de\\_automovil\\_-\\_GOMEZGONZALEZsamuel.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/108947/Mallado_y_simulacion_CFD_de_automovil_-_GOMEZGONZALEZsamuel.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

**GUACHO, D.** Implementación de un prototipo de prótesis con control muscular para mejora del movimiento y agarre de objetos, aplicada a personas con muñón o malformación en los dedos de la mano (Trabajo de titulación). (Maestría) [En línea]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, FIE, Ingeniería Electrónica. Riobamba – Ecuador. 2018. pp. 8-23 [Consulta: 8 febrero 2023]. Disponible en: <http://dspace.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/9325/1/20T01121.pdf>

**GUALLICHICO, F. & MACAS, X.** Diseño de sólidos de revolución mediante el método de elementos finitos (Trabajo de titulación). [En línea]. Escuela Superior Politécnica Nacional, Ingeniería Mecánica, Ingeniería Mecánica. Quito – Ecuador. 2010. pp. 1-54 [Consulta: 8 febrero 2023]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2104/1/CD-2884.pdf>

**HARO, H.** Normalización de parámetros en las variables que inciden en la calidad de la tela JERSEY, mezcla algodón 30/1 /elastano 40denier, colores oscuros, en el proceso de prefijado y termofijado, en la empresa ASOTEXTIL (Trabajo de titulación). [En línea]. Universidad Técnica del Norte, Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Ingeniería Textil. Ibarra – Ecuador. 2011. pp. 29-34 [Consulta: 8 febrero 2023]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/736/1/04%20IT%20095%20TESIS.pdf>

**IMBINTO, I et al.** “Treatment of the Partial Hand Amputation: An Engineering Perspective”. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering* [en línea], 2016, (USA) pp. 3-8. [Consulta: 1 febrero 2023]. ISSN 1888-8550. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26849872/>

**LARRIBA, E.** Diseño de una Prótesis de Mano Impresa en 3D Accionada Corporalmente (Trabajo de titulación). (Maestría) [En línea]. Universidad de Zaragoza, Escuela de Ingeniería y Arquitectura. Zaragoza – España. 2010. pp. 1-21 [Consulta: 8 febrero 2023]. Disponible en: <https://zaguan.unizar.es/record/96606/files/TAZ-TFG-2020-1913.pdf>

**LLOP-HARILLO, I et al.** “The Anthropomorphic Hand Assessment Protocol (AHAP)”. *ELSEVIER* [en línea], 2019, (Países Bajos) pp. 1-6. [Consulta: 1 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921889019300946>

**LOPESINO, D.** Análisis y mejora del diseño de una mano protésica (Trabajo de titulación). [En línea]. Universidad Politécnica de Madrid, Ingeniería en Tecnologías Industriales. Madrid – España. 2018. pp. 31-103 [Consulta: 8 febrero 2023]. Disponible en: [https://oa.upm.es/50450/1/TFG\\_DANIEL\\_LOPESINO\\_RIVERA.pdf](https://oa.upm.es/50450/1/TFG_DANIEL_LOPESINO_RIVERA.pdf)

**MAW, J., WONG, K. & GILLESPIE, P.** “Hand anatomy”. *BRITISH JOURNAL OF HOSPITAL MEDICINE* [en línea], 2016, (Reino Unido) pp. 1-5. [Consulta: 1 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921889019300946>

**MEDINA, R et al.** “Análisis de estructuras navales mediante el método de elementos finitos”. *REVISTAS ACADÉMICAS de la Universidad Austral de Chile* [en línea], 2005, (Chile) pp. 1-3. [Consulta: 1 febrero 2023]. Disponible en: <http://revistas.uach.cl/html/sintec/v2n1/body/art04.htm>

**MSC SOFTWARE.** *Adams-Cable* [en línea]. [Consulta: 8 febrero 2023]. Disponible en: [www.mssoftware.com](http://www.mssoftware.com).

**OCHOA, D., VIVAS, J. & SANTAFÉ ELKIN.** “Uso del método de elementos finitos (MEF) para la determinación de esfuerzos y deformaciones en un modelo de pozo”. *Revista Fuentes: El Reventón Energético* [en línea], 2009, (Colombia) p.6. [Consulta: 1 febrero 2023]. Disponible en: <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistafuentes/article/view/360/598>

**PINTO, K. & LÓPEZ, D.** Investigación de la metodología para el diseño e implementación de un prototipo de prótesis de mano biónica controlada automáticamente para manipulación de objetos (Trabajo de titulación). [En línea]. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Ingeniería Mecatrónica. Sangolquí – Ecuador. 2017. pp. 6-114 [Consulta: 8 febrero 2023]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/13223/T-ESPEL-MEC-0100.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**PIÑEDA, A et al.** “Variables antropométricas y su relación con la fuerza-prensión de mano, para el uso ergonómico de herramientas manuales en un grupo de trabajadores del sector de la construcción en Bogotá”. *Revista Ingeniería, Matemáticas y Ciencias de la Información* [en línea], 2016,

(Colombia) pp. 73-74 [Consulta: 1 febrero 2023]. Disponible en:  
<http://ojs.urepublicana.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/285>

**PROGRAMADOR CLIC.** *Varios métodos de mallado en ANSYS WORKBENCH - programador clic.* [en línea]. [Consulta: 8 febrero 2023]. Disponible en:  
<https://programmerclick.com/article/30931204021/>.

**ROUF, S et al.** “Additive manufacturing technologies: Industrial and medical applications”. *KeAi CHINESE ROOTS GLOBAL IMPACT* [en línea], 2022, (India) pp. 259-261. [Consulta: 1 febrero 2023]. Disponible en:  
[https://www.researchgate.net/publication/360697849\\_Additive\\_manufacturing\\_technologies\\_Industrial\\_and\\_medical\\_applications](https://www.researchgate.net/publication/360697849_Additive_manufacturing_technologies_Industrial_and_medical_applications)

**SALAZAR, R.** Protocolo de pruebas para prótesis de mano impresas en 3D (Trabajo de titulación). [En línea]. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Mecánica. Cd. Mx. – México. 2019. pp. 30-80 [Consulta: 9 febrero 2023]. Disponible en:  
<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/16680/Tesis.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

**SCHIEHLEN, W.** “Research trends in multibody system dynamics”. *SpringerLink* [en línea], 2007, (Alemania) pp. 3-9. [Consulta: 1 febrero 2023]. ISSN 13845640. Disponible en:  
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11044-007-9064-4#citeas>

**STAYWELL, C.** *Amputación* [en línea]. 2020. [Consulta: 1 febrero 2023]. Disponible en:  
<https://www.cuimc.columbia.edu/rehab/staywell/amputation>

**TAYLOR, C.L. & SCHWARZ, R.J.** “The Anatomy and Mechanics of the Human Hand”. *SpringerLink* [en línea], 1955, (USA) p. 12. [Consulta: 1 febrero 2023]. ISSN 13845640. Disponible en:  
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11044-007-9064-4#citeas>

**TIAN, L et al.** “The making of a 3D-printed, cable-driven, single-model, lightweight humanoid robotic hand”. *Frontiers in Robotics and AI* [en línea], 2017, (Suiza) pp. 3-9. [Consulta: 8 febrero 2023]. ISSN 22969144. Disponible en:  
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frobt.2017.00065/full>

**VEHI, J.** Mallado de geometrías complejas mediante CFD (Trabajo de titulación). [En línea]. Universidad de Catalunya, Ingeniería en tecnologías industriales. Barcelona – España. 2016. pp. 17-20 [Consulta: 8 febrero 2023]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/81577803.pdf>

**WONG, K. V. & HERNANDEZ, A.** “A Review of Additive Manufacturing”. *International Scholarly Research Network* [en línea], 2012, (USA) pp. 3-7. [Consulta: 1 febrero 2023]. Disponible en:

[https://www.researchgate.net/publication/246722237\\_KV\\_Wong\\_AHernandez\\_A\\_Review\\_of\\_Additive\\_Manufacturing\\_ISRN\\_Mechanical\\_Engineering\\_Vol\\_2012\\_2012\\_Article\\_ID\\_208760\\_10\\_pages](https://www.researchgate.net/publication/246722237_KV_Wong_AHernandez_A_Review_of_Additive_Manufacturing_ISRN_Mechanical_Engineering_Vol_2012_2012_Article_ID_208760_10_pages)

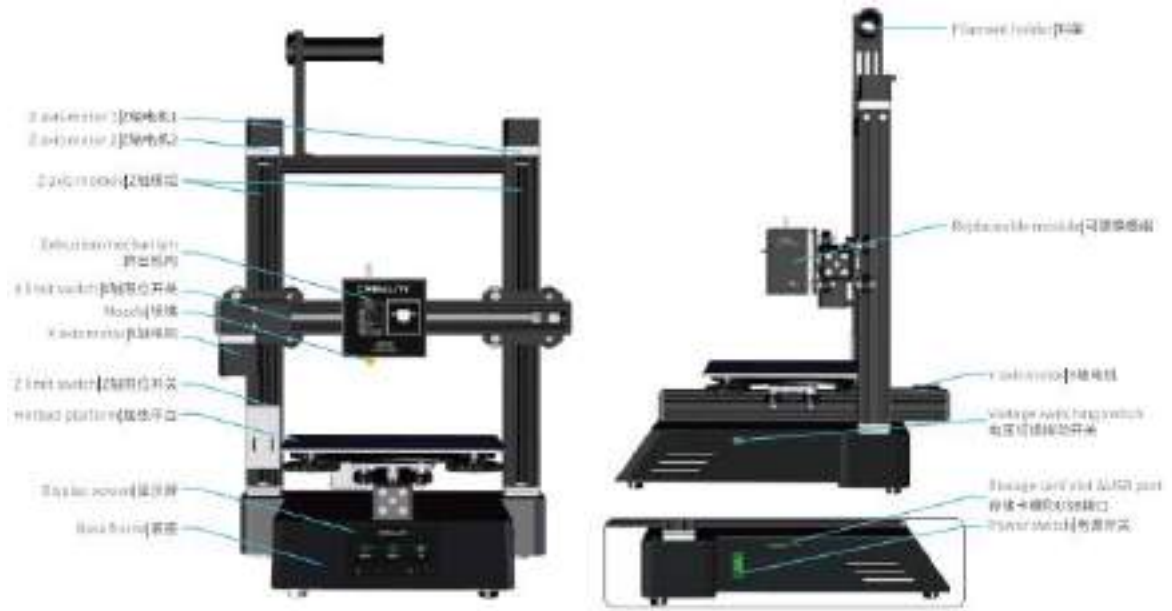
**ZHINDÓN, A.** Desarrollo de mejoras al mecanismo de un prototipo de prótesis transhumeral considerando socket y actuadores (Trabajo de titulación). [En línea]. Universidad Politécnica Salesiana, Ingeniería Mecatrónica. Cuenca. – Ecuador. 2022. pp. 5-36 [Consulta: 9 febrero 2023]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23535/1/UPS-CT010112.pdf>



# ANEXOS

## ANEXO A: CREALITY CP-01

Las especificaciones impartidas de la página oficial fueron las siguientes



### Parameters 设备参数

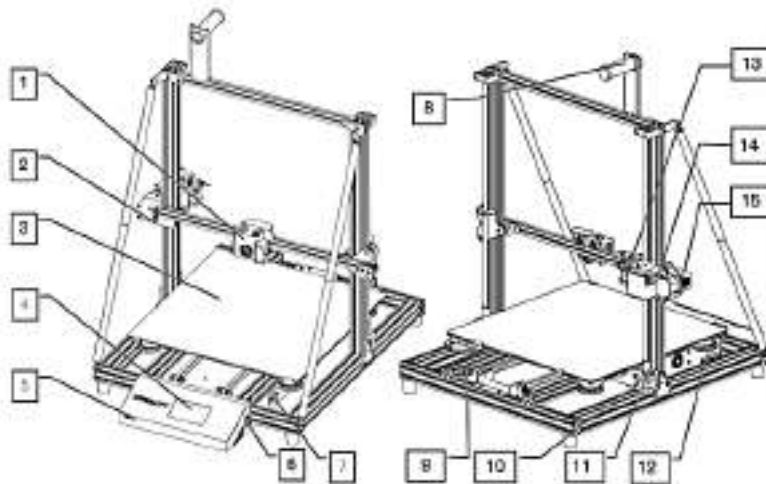
| 3D Printing Basic Parameters (3D打印基本参数) |  |
|---|--|
| Model   型号                              | CP-01                                      |
| Printing Size   成型尺寸                    | 200*200*200mm                              |
| Molding Tech   成型技术                     | FDM  |
| Nozzle Number   喷头数量                    | 1  |
| Size Thickness   切片层厚                   | 0.1mm-0.4mm                                |
| Nozzle Diameter   喷嘴直径                  | Standard 0.4mm   标配0.4mm                   |
| Precision   打印精度                        | ±0.1mm                                     |
| Filament   打印材料                         | 1.75mm PLA                                 |
| File Format   切片支持格式                    | STL/OBJ/AMF                                |
| Working Mode   打印方式                     | Online or Storage-card offline   联机或存储卡断联  |
| Slice Software   可兼容切片软件                | Creality Slicer/Cura/Prep3-Post/Simplify3D |
| Power Supply   额定电压                     | Input   输入: AC 115/230V 50/60Hz            |
| Output Voltage   输出电压                   | 24V  |
| Total Power   额定功率                      | 350W                                       |
| Bed Temp   热床最高温度                       | ≤100°C                                     |
| Nozzle Temp   喷嘴最高温度                    | ≤250°C                                     |
| Resume Print   断电续打                     | Yes   有                                    |
| Filament Detector   耗材检测                | No   无                                     |
| Dual Z-Axis   双Z轴                       | Yes   有                                    |
| Language Selection   中英文菜单              | Yes   有                                    |
| Operating System   电脑操作系统               | Windows XP/7/8/10 MAC/Linux                |
| Printing Speed   打印速度                   | ≤180mm/s, Normal   正常为 30-60mm/s           |

| Laser Engraving Basic Parameters (激光雕刻基本参数) |  |
|---|--|
| Engraving size   雕刻尺寸                       | 200*200mm  |
| Supported filament   支持材料                   | Wood, paper, plastic, leather, etc.   木、纸、塑料、皮革、竹子 |
| File format   支持文件格式                        | JPG  |
| Slice Software   可兼容切片软件                    | CrealityWorkshop-01                                |

| CNC Engraving Basic Parameters (CNC雕刻基本参数) |  |
|--|--|
| Engraving size   雕刻尺寸                      | 300*200mm  |
| Main spindle rotation speed   主轴转速         | 4800rpm Max                                      |
| Supported filament   支持材料                  | wood, paper, PCB, plastic, etc.   木、纸、PCB、塑料     |
| Standard cutter size   标配刀具尺寸              | ØPCD 16mm steel milling cutter #4   Ø16mm 钢铣刀 #4 |
| File format   支持文件格式                       | JPG  |
| Drill chuck clamping range   钻头夹持范围        | 0.3-0.4mm  |
| Slice Software   可兼容切片软件                   | CrealityWorkshop-01                              |

## ANEXO B: CREALITY CR-10 MAX

Las especificaciones impartidas de la página oficial fueron las siguientes



- |                                 |                        |                         |
|---------------------------------|------------------------|-------------------------|
| 1. Nozzle kit & auto leveling   | 6. Power switches      | 11. Coupling            |
| 2. X-axis limit switch          | 7. Power socket        | 12. XL bed-leveling mat |
| 3. Printing platform            | 8. Filament holder     | 13. Extruder (E) motor  |
| 4. Touch screen                 | 9. Y-axis limit switch | 14. Filament detector   |
| 5. Storage card slot & USB port | 10. Z-axis motor       | 15. X-axis motor        |

| Parameters         |  |
|--------------------|--|
| Model              | CR-10Max   |
| Model Size         | 450 x 450 x 470mm  |
| Printing Tech      | FDM  |
| Nozzle Number      | 1  |
| Vibr. Dampers      | 4 (max 0.4mm)  |
| Nozzle Diameter    | 0.4mm/0.6mm  |
| Platform           | al. 3mm  |
| Platform           | ø1.75mm PLA  |
| File Format        | STL, OBJ, AMF  |
| Printing Mode      | Online or Storage card or file   |
| File Software      | Creality Slicer/ Cura<br>Repetier-Host/ Sanguino 3D  |
| Power Supply       | Motorhood 75W, 24V, input: 180-240V AC, output: 24V<br>Bedbed 150W, 24V, input: 180-240V AC, output: 24V |
| Machine Power      | 150W   |
| Rated Power        | 100W   |
| Heated Bed         | ±100°C   |
| Nozzle Temp        | ±250°C   |
| Extruder Filtr     | Yes  |
| Filament Detector  | Yes  |
| Bed Leveling       | Yes  |
| Auto Leveling      | Yes  |
| Language Selection | EN/CM  |
| Operating System   | Windows XP/Vista/7/8/10/MAC/Linux  |

### 15. Filaments Parameter Information

| Material                               | Print Temp (°C) | Bed Temp (°C) | Difficulty | Reliability | Shrinkage | Quality | Applicable Models   |                              |
|--|-----------------|---------------|------------|-------------|-----------|---------|---|------------------------------|
| PLA Series                             | HF-PLA          | 100-120       | 50-60      | ★           | ★★        | ★       | ★★★   | Suitable for 00%, FDM models |
|  | HF-PLA2         | 100-120       | 50-60      | ★           | ★★        | ★       | ★★★   | Suitable for 00% FDM models  |
|  | CR-PLA          | 100-120       | 50-60      | ★           | ★★        | ★       | ★★★   | Suitable for 00% FDM models  |
|  | HC-20-PLA       | 100-120       | 50-60      | ★           | ★★        | ★       | ★★  | Suitable for 00% FDM models  |
| ABS                                    | 200-260         | 80-110        | ★★★★       | ★★          | ★★★       | ★★★     | Hot bed is needed, and Quality control software is recommended for CR Max3D |                              |
| PETG                                   | 200-250         | 60-100        | ★★★        | ★★          | ★★        | ★★★     | Hot bed is needed, and Quality control software is recommended for CR Max3D |                              |
| TPU                                    | 210-240         | 60            | ★★         | ★★★★        | ★         | ★★★★    | Direct without any beds   |                              |
| PP                                     | 180-220         | 60-80         | ★          | ★★          | ★         | ★★      | Suitable for 00%, FDM models  |                              |
| Nylon                                  | 200-260         | 60-80         | ★★★★       | ★★★         | ★★★★      | ★★★★    | Hot bed is needed, and Quality control software is recommended for CR Max3D |                              |
| Carbon<br>Carbon fiber<br>Carbon fiber | 180-220         | 50-60         | ★          | ★           | ★         | ★★      | Suitable for 00%, FDM models  |                              |
| PC (Polycarbonate)<br>Nylon-PA         | 180-220         | 50-60         | ★          | ★★          | ★         | ★★      | Goodly PE, PE, TE   |                              |
| Low temperature Nylon-PA               | 60-120          | -             | ★          | ★★★         | ★         | ★★★★    | Low temperature 3D printing   |                              |

## ANEXO C: ESPECIFICACIONES DEL TPU

Mediante data sheet, el TPU obtiene las siguientes propiedades:

# eTPU-95A

Technical Data Sheet

|                          |   |  |   |  |
|--------------------------|---|--|---|--|
| <b>Material Status</b>   | <b>Mass Production</b>  |  |   |  |
| <b>Characteristics</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Flexible and soft</li> <li>• Sturdy and durable</li> <li>• High flexibility</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• High toughness</li> <li>• High impact resistance</li> </ul> |   |  |
| <b>Applications</b>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Shoe material</li> <li>• Machinery</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Automobile</li> <li>• Electronic appliances</li> </ul>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conveying pipeline</li> <li>• Sporting products</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Medical prosthesis</li> </ul> |
| <b>Form</b>              | • Filament  |  |   |  |
| <b>Processing method</b> | • 3D Print, FDM Print   |  |   |  |

|                                      | Testing method | Typical value          |
|--------------------------------------|----------------|------------------------|
| <b>Physical Properties</b>           |                |                        |
| Density                              | GB/T 1033      | 1.21 g/cm <sup>3</sup> |
| Melt Flow Index                      | GB/T 3682      | 1.2 (190°C/2.16kg)     |
| <b>Mechanical Properties</b>         |                |                        |
| Tensile Strength                     | GB/T 1040      | 35 MPa                 |
| Elongation at Break                  | GB/T 1040      | ≥800 %                 |
| Flexural Strength                    | GB/T 9341      | N/A                    |
| Flexural Modulus                     | GB/T 9341      | N/A                    |
| IZOD Impact Strength                 | GB/T 1843      | N/A                    |
| <b>Thermal Properties</b>            |                |                        |
| Heat distortion Temperature          | GB/T 1634      | N/A                    |
| Continuous Service Temperature       | IEC 60216      | N/A                    |
| Maximum (short term) Use Temperature |                | N/A                    |

| <b>Recommended printing parameters</b> |             |
|--|-------------|
| Extruder Temperature                   | 220 - 250°C |
| Build Platform Temperature             | 45-60°C     |
| Fan Speed                              | 100%        |
| Printing Speed                         | 20 - 50mm/s |

### Mechanical Properties



Tensile testing specimen - GB/T 1040



Flexural testing specimen - GB/T 9341



Impact testing specimen - GB/T 1843

The physical properties, mechanical properties, thermal properties, and electrical properties of the filament are obtained based on the injection molding spline test.

Print test condition:

|                            |           |
|----------------------------|-----------|
| Extruder Temperature       | 210-250°C |
| Build Platform Temperature | 60°C      |
| Outline/Perimeter Shells   | 4         |
| Top/Bottom Layers          | 4         |
| Infill Percentage          | 20%       |
| Fan speed                  | 100%      |
| Printing speed             | 40mm/s    |



## Material Safety data sheet

---

### 1. Identification

**Product Name:**TPU-95A filament

**Manufacture/Supplier:**

Shenzhen eSUN Industrial Co;Ltd

---

### 2. Composition

Chemical Character: Epsilon-caprolactone(CAS NO.: 502-44-3)

Viscosity-average molecular weight: 60000

---

### 9. Physical and Chemical Properties

**General Information:**

Form: Solid

Smell: Not determined.

**Change in condition:**

Melting point: 176°C

Ignition temperature: Not determined

Decomposition Temperature: 252°C

Danger of explosion: Not determined

Vapor pressure: Not determined

Density at 25 °C: 1.21g/cm<sup>3</sup>

Solubility (Water): Not determined

---

### 11.Toxicological Information

**Acute toxicity:**

LD/LC50 values that are relevant for classification:

Oral LD50 4290mg/kg(rat)

Dermal LD50 5990uL/kg(rabbit)

Primary irritant effect: Irritant for skin and mucous membranes.

**On skin:**Irritant effect.

**On eye:** No sensitizing effect known.

**Additional information:**

To the best of our knowledge the acute and chronic toxicity of this substance is not fully known. No classification data on carcinogenic properties of this material is available from the EPA IAPV NTP OSHA or ACGIH.

---



## ANEXO D: ESPECIFICACIONES DEL PLA

Mediante data sheet del TPU obtiene las siguientes propiedades

# PLA+

Technical Data Sheet

| Material Status    | Mass Production   |  |
|--------------------|---|--|
| Characteristics:   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Good toughness</li> <li>• Strong impact resistance</li> <li>• High speed printing</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Smooth printed surface</li> <li>• Easy to print</li> <li>• Hard to break</li> </ul> |
| Applications:      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prototyping</li> <li>• COSPLAY</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Decoration</li> <li>• Other mechanical parts</li> </ul>                             |
| Form:              | • Filament  |  |
| Processing method: | • 3D Print, FDM Print   |  |

|                            | testing method | Typical value |                   |
|----------------------------|----------------|---------------|-------------------|
| <b>Physical Properties</b> |                |               |                   |
| Density                    | GB/T 1033      | 1.23          | g/cm <sup>3</sup> |
| Melt Flow Index            | GB/T 3652      | 5             | (190°C/2.16kg)    |

|                              |           |      |                   |
|------------------------------|-----------|------|-------------------|
| <b>Mechanical Properties</b> |           |      |                   |
| Tensile Strength             | GB/T 1040 | 63   | MPa               |
| Elongation at Break          | GB/T 1040 | 20   | %                 |
| Flexural Strength            | GB/T 9341 | 74   | MPa               |
| Flexural Modulus             | GB/T 9341 | 1973 | MPa               |
| IZOD Impact Strength         | GB/T 1843 | 9    | kJ/m <sup>2</sup> |

|                                      |           |     |    |
|--------------------------------------|-----------|-----|----|
| <b>Thermal Properties</b>            |           |     |    |
| Heat distortion Temperature          | GB/T 1634 | 53  | °C |
| Continuous Service Temperature       | IEC 60216 | N/A |    |
| Maximum (short term) Use Temperature |           | N/A |    |

|  |            |
|--|------------|
| <b>Recommended printing parameters</b> |            |
| Extruder Temperature                   | 210-230°C  |
| Build Platform Temperature             | 45-60°C    |
| Fan Speed                              | 100%       |
| Printing Speed                         | 40-100mm/s |

### Mechanical Properties



Tensile testing specimen - GB/T 1040



Flexural testing specimen - GB/T 9341



Impact testing specimen - GB/T 1843

The physical properties, mechanical properties, thermal properties, and electrical properties of the line are obtained based on the injection molding spline test.

#### Print test condition:

|                            |           |
|----------------------------|-----------|
| Extruder Temperature       | 190-230°C |
| Build Platform Temperature | 45°C      |
| Outline/Perimeter Shells   | 4         |
| Top/Bottom Layers          | 4         |
| Infill Percentage          | 20%       |
| Fan speed                  | 100%      |
| Printing speed             | 40mm/s    |



## Material Safety data sheet

---

### 1. Identification

**Product Name:**PLA+ filament  
**Manufacture/Supplier:**  
Shenzhen eSUN Industrial Co;Ltd

---

### 2. Composition

Chemical Character:

| Ingredient Name          | CAS NO.    | Content (%) |
|--------------------------|------------|-------------|
| Polylactic acid resin    | 26100-51-6 | 92-96       |
| Calcium carbonate powder | 471-34-1   | 2-4         |
| Other additives          | —          | 2-5         |

---

### 9. Physical and Chemical Properties

**General Information:**

Form: Solid

Smell: Not determined.

**Change in condition:**

Melting point: 155-185°C

Ignition temperature: Not determined

Decomposition Temperature: Not determined

Danger of explosion: Not determined

Vapor pressure: Not determined

Density at 25 °C: 1.24g/cm<sup>3</sup>

Solubility (Water): Not determined

---

### 11. Toxicological Information

**Acute toxicity:**

LD/LC50 values that are relevant for classification:

Oral LD50 4290mg/kg(rat)

Dermal LD50 5990uL/kg(rabbit)

Primary irritant effect: Irritant for skin and mucous membranes.

**On skin:**Irritant effect.

**On eye:** No sensitizing effect known.

**Additional information:**

To the best of our knowledge the acute and chronic toxicity of this substance is not

ANEXO E: PROTOCOLO DE PRUEBAS



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA MECÁNICA**

**“PROTOCOLO DE PRUEBAS BAJO NORMATIVA AHAP DE UNA  
PRÓTESIS MECÁNICA PARA AMPUTACIÓN  
TRANSMETACARPAL CONTROLADA POR MUÑÓN FLEXIBLE Y  
CABLES PARA UNA PERSONA ADULTA”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**AUTORES:**

MARCO VINICIO ASAN CUSHPA  
DAVID GERARDO QUEVEDO LÓPEZ

Riobamba – Ecuador

2023

## INTRODUCCIÓN

El impacto que tienen los diferentes dispositivos protésicos en la actualidad es muy alto, sin embargo, el desarrollo que tiene una mano artificial como es una prótesis mecánica tiene un proceso muy extenso que culmina con las pruebas de funcionalidad o también conocido como protocolo de pruebas, en donde se validan los objetivos planteados.

En la actualidad existen varios métodos y normativas para la evaluación de pruebas funcionales, mecánicas, de toxicidad, de biocompatibilidad y de usabilidad.

En el presente documento se propone un protocolo de pruebas en donde se evalúa la funcionalidad de una prótesis para amputación transmetacarpal controlada por muñón flexible y cables para una persona adulta.

El interés principal en el desarrollo del protocolo se basó en redactar un documento de validación de resultados para la prótesis diseñada en base a una normativa estandarizada como es el AHAP.

### 1. OBJETIVOS

#### 1.1 Objetivo general

Realizar un protocolo de pruebas de una prótesis mecánica para amputación transmetacarpal accionada por muñón flexible y cables para una persona adulta.

#### 1.2 Objetivos específicos

Proponer un protocolo de pruebas para los diferentes tipos de agarres según la normativa AHAP.

Validar la funcionalidad de la prótesis mediante 5 tomas de datos con cada tipo de agarre recomendado en AHAP.

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Descripción de la prótesis

La prótesis está diseñada para un tipo de amputación transmetacarpal de una persona adulta y accionadas por cables, cuyos elementos están fabricados con impresión 3D los cuales se muestran en la ilustración 1.



**Ilustración 1-2:** Componentes de la prótesis de la mano

Realizado por: Asan, M; Quevedo, D., 2023



Los materiales empleados en la impresión son los que se muestran en la tabla 1-2.

**Tabla 1-2:** Pasos según AHAP

| Elemento              | Material | % Relleno |
|-----------------------|----------|-----------|
| Muñón                 | TPU      | 5         |
| Brazalete de Sujeción | PLA      | 20        |
| Elementos de anclaje  | PLA      | 20        |
| Articulación - Muñeca | TPU      | 20        |
| Mano                  | TPU      | 20        |
| Dedos                 | PLA      | 20        |
| Articulación - Dedos  | PLA      | 20        |
| Pin                   | Aluminio | ----      |

Realizado por: Asan, M; Quevedo, D., 2023

## 1.1. Tipos de pruebas

En cada tipo de prueba son varios los riesgos que se expone la prótesis. Para ello, se debe basar en informaciones impartidas por los diseñadores, el aplicador y el protocolo médico.

### 2.2.1 Pruebas según AHAP

#### 2.2.1.1 Procedimiento de evaluación

**Tabla 2-2:** Pasos según AHAP

| Pasos | Descripción   |
|-------|---|
| 1     | El operador muestra el objeto y la postura/tarea de agarre correcta al sujeto. La información detallada sobre la postura/tarea para cada objeto y el orden a seguir se puede encontrar en la Tabla 1 (Sección 2.2).   |
| 2     | El operador ayuda al sujeto a practicar el agarre/tarea durante aproximadamente un minuto.  |
| 3     | El operador entrega el objeto al sujeto para la prueba. Para la tarea de prensado índice (Tog), el temporizador se fija a la superficie de la mesa.   |
| 4     | El sujeto acciona la mano artificial para agarrar el objeto con la palma hacia arriba. El operador suelta el objeto tan pronto como la mano artificial ha agarrado el objeto. El sujeto mantiene el agarre durante tres segundos. Para la tarea de presionar índice (Tog), el sujeto presiona el botón para iniciar el cronómetro y espera tres segundos. Este paso es seguido inmediatamente por el paso 5 y la secuencia de pasos 4-5 se repite tres veces. |
| 5     | Mientras mantiene el agarre, el sujeto gira la mano de forma natural con poca aceleración para que la palma apunte hacia abajo (180°) y mantiene el agarre durante tres segundos en esta posición. Para la tarea de pulsación de índice (Tog), el sujeto vuelve a pulsar el botón para detener el cronómetro (tiempo máximo para ejecutar tres segundos). Para la posición de plataforma no se ejecuta este paso.   |
| 6     | El sujeto suelta el objeto, que es tomado por el operador.  |









Fuente: (Llop-Harillo et al., 2019)

Realizado por: Asan, M; Quevedo, D., 2023

2.2.1.2 *Estilo de agarre*

**Tabla 3-2:** Estilos de agarre según AHAP

| Tipos y objetos de agarre (conjunto YCB) utilizados en el protocolo (Indica el orden de las tareas del protocolo). |   |   |   |
|--|---|---|---|
| Tipos de agarre  | Orden de objetos y tareas:  |   |   |
| Gancho   | Tapa de sartén (T01)<br>         | Base de la jarra (T10)<br>   | Bloques de madera con cuerda (T19)<br> |
| Agarre esférico  | Manzana de plástico (T02)<br>    | Pelota suave (T11)<br>       | Mimi balón de fútbol (T20)<br>         |
| Pinzas de trípode  | Marcador largo (T03)<br>        | Lata de atún (T12)<br>      | Bola de golf (T21)<br>                |
| Agarre de extensión  | Plato (T04)<br>                | Caja de galletas (T13)<br> | Budin de chocolate (T22)<br>         |
| Agarre cilíndrico  | Lata de papas fritas (T05)<br> | Lata de café (T14)<br>     | Taladro eléctrico (T23)<br>          |
| Agarre diagonal volar  | Destornillador (T06)<br>       | Espátula (T15)<br>         | Sartén (T24)<br>                     |

|                            |   |  |   |
|----------------------------|---|--|---|
| Apriete lateral            | Tazón (T07)<br>            | Grapadora (T16)<br>     | Llave (T25)<br>          |
| Pulp pinch                 | Marcador pequeño (T08)<br> | Pera plástica (T17)<br> | Arandela 10 mm (T26)<br> |
| Índice apretado/presionado | Timbre (T09)<br>           |  |   |
| Plataforma                 | Plato (T18)<br>           |  |   |

Fuente: (Llop-Harillo et al., 2019)

Realizado por: Asan, M; Quevedo, D., 2023

### 2.2.1.3 Rúbrica de evaluación

**Tabla 4-2:** Rúbrica según AHAP

| Paso | Tarea                              | Puntuación (para cada ensayo) | Criterios de puntuación   |
|------|------------------------------------|-------------------------------|---|
| 4    | Todas                              | 1                             | El agarre se completa con el tipo de agarre correcto. Las instrucciones detalladas para evaluar la postura de agarre se pueden encontrar en el Apéndice.                    |
|      |                                    | 0.5                           | La postura de agarre es diferente a la especificada en el Apéndice.   |
|      |                                    | 0                             | La mano artificial no puede agarrar el objeto.  |
| 5    | Todas las tareas excepto T09 y T18 | 1                             | No se detecta ningún movimiento visible del objeto con respecto a la mano (para T19 sólo se considera el movimiento de la parte de la cuerda situada en la zona de agarre). |
|      |                                    | 0.5                           | El objeto se mueve con respecto a la mano pero no se deja caer.   |
|      |                                    | 0                             | El objeto se cae.   |
|      | T09                                | 1                             | Completado con el tipo de agarre correcto.  |
|      |                                    | 0.5                           | Completado con un tipo de agarre diferente al especificado en el Apéndice.  |
|      |                                    | 0                             | No se completa en menos de tres segundos.   |
|      | T18                                | -                             | No es un punto adicional para esta tarea.   |

Fuente: (Llop-Harillo et al., 2019)

Realizado por: Asan, M; Quevedo, D., 2023

## 2.2.2 Criterios de ergonomía

- ✓ Análisis del material
- ✓ Peso de la prótesis
- ✓ Estudio de la comodidad

### 3. PROTOCOLO DE PRUEBAS

#### 3.1 Pruebas seleccionadas para la evaluación

##### 3.1.1 Pruebas según AHAP

Los tipos de agarres se analizaron mediante la puntuación recomendada en la rúbrica según AHAP.

**Tabla 1-3:** Pruebas en el agarre tipo gancho

| Tipos de agarre | Objetos   | Pruebas   | Puntuación     |
|-----------------|---|-----------|----------------|
| Gancho          | <b>T01</b><br>   | Prueba 1  | 0              |
|                 |   | Prueba 2  | 0.5            |
|                 |   | Prueba 3  | 1              |
|                 |   | Prueba 4  | 1              |
|                 |   | Prueba 5  | 1              |
|                 |   | RESULTADO | SI ES FACTIBLE |
|                 | <b>T10</b><br>   | Prueba 1  | 1              |
|                 |   | Prueba 2  | 0.5            |
|                 |   | Prueba 3  | 1              |
|                 |   | Prueba 4  | 1              |
|                 |   | Prueba 5  | 1              |
|                 |   | RESULTADO | SI ES FACTIBLE |
|                 | <b>T19</b><br> | Prueba 1  | 1              |
|                 |   | Prueba 2  | 1              |
|                 |   | Prueba 3  | 1              |
|                 |   | Prueba 4  | 1              |
|                 |   | Prueba 5  | 1              |
|                 |   | RESULTADO | SI ES FACTIBLE |

Realizado por: Asan, M; Quevedo, D., 2023

**Tabla 2-3:** Pruebas en el agarre tipo esférico

| Tipos de agarre | Objetos   | Pruebas   | Puntuación     |
|-----------------|---|-----------|----------------|
| Esférico        | <b>T02</b><br> | Prueba 1  | 0.5            |
|                 |   | Prueba 2  | 0.5            |
|                 |   | Prueba 3  | 1              |
|                 |   | Prueba 4  | 1              |
|                 |   | Prueba 5  | 1              |
|                 |   | RESULTADO | SI ES FACTIBLE |
|                 | <b>T11</b><br> | Prueba 1  | 0.5            |
|                 |   | Prueba 2  | 1              |
|                 |   | Prueba 3  | 1              |
|                 |   | Prueba 4  | 1              |
|                 |   | Prueba 5  | 1              |
|                 |   | RESULTADO | SI ES FACTIBLE |
|                 | <b>T20</b><br> | Prueba 1  | 1              |
|                 |   | Prueba 2  | 1              |
|                 |   | Prueba 3  | 1              |
|                 |   | Prueba 4  | 1              |
|                 |   | Prueba 5  | 1              |
|                 |   | RESULTADO | SI ES FACTIBLE |

Realizado por: Asan, M; Quevedo, D., 2023

**Tabla 3-3:** Pruebas en el agarre tipo trípode

| Tipos de agarre | Objetos   | Pruebas   | Puntuación     |
|-----------------|---|-----------|----------------|
| Trípode         | <b>T03</b><br> | Prueba 1  | 0              |
|                 |   | Prueba 2  | 0.5            |
|                 |   | Prueba 3  | 1              |
|                 |   | Prueba 4  | 1              |
|                 |   | Prueba 5  | 1              |
|                 |   | RESULTADO | SI ES FACTIBLE |
|                 | <b>T12</b><br> | Prueba 1  | 1              |
|                 |   | Prueba 2  | 0.5            |
|                 |   | Prueba 3  | 1              |
|                 |   | Prueba 4  | 1              |
|                 |   | Prueba 5  | 1              |
|                 |   | RESULTADO | SI ES FACTIBLE |
|                 | <b>T21</b><br> | Prueba 1  | 1              |
|                 |   | Prueba 2  | 1              |
|                 |   | Prueba 3  | 1              |
|                 |   | Prueba 4  | 1              |
|                 |   | Prueba 5  | 1              |
|                 |   | RESULTADO | SI ES FACTIBLE |

Realizado por: Asan, M; Quevedo, D., 2023


**Tabla 4-3:** Pruebas en el agarre tipo extensión

| Tipos de agarre | Objetos   | Pruebas   | Puntuación     |
|-----------------|---|-----------|----------------|
| Extensión       | <b>T04</b><br> | Prueba 1  | 0              |
|                 |   | Prueba 2  | 0.5            |
|                 |   | Prueba 3  | 0              |
|                 |   | Prueba 4  | 0              |
|                 |   | Prueba 5  | 0.5            |
|                 |   | RESULTADO | NO ES FACTIBLE |
|                 | <b>T13</b><br> | Prueba 1  | 0.5            |
|                 |   | Prueba 2  | 1              |
|                 |   | Prueba 3  | 1              |
|                 |   | Prueba 4  | 1              |
|                 |   | Prueba 5  | 1              |
|                 |   | RESULTADO | SI ES FACTIBLE |
|                 | <b>T22</b><br> | Prueba 1  | 1              |
|                 |   | Prueba 2  | 1              |
|                 |   | Prueba 3  | 1              |
|                 |   | Prueba 4  | 1              |
|                 |   | Prueba 5  | 1              |
|                 |   | RESULTADO | SI ES FACTIBLE |

Realizado por: Asan, M; Quevedo, D., 2023



**Tabla 5-3:** Pruebas en el agarre tipo cilíndrico

| Tipos de agarre | Objetos   | Pruebas          | Puntuación            |
|-----------------|---|------------------|-----------------------|
| Cilíndrico      | <b>T05</b><br> | Prueba 1         | 1                     |
|                 |   | Prueba 2         | 1                     |
|                 |   | Prueba 3         | 1                     |
|                 |   | Prueba 4         | 1                     |
|                 |   | Prueba 5         | 1                     |
|                 |   | <b>RESULTADO</b> | <b>SI ES FACTIBLE</b> |
|                 | <b>T14</b><br> | Prueba 1         | 1                     |
|                 |   | Prueba 2         | 1                     |
|                 |   | Prueba 3         | 1                     |
|                 |   | Prueba 4         | 1                     |
|                 |   | Prueba 5         | 1                     |
|                 |   | <b>RESULTADO</b> | <b>SI ES FACTIBLE</b> |
|                 | <b>T23</b><br> | Prueba 1         | 1                     |
|                 |   | Prueba 2         | 1                     |
|                 |   | Prueba 3         | 1                     |
|                 |   | Prueba 4         | 1                     |
|                 |   | Prueba 5         | 1                     |
|                 |   | <b>RESULTADO</b> | <b>SI ES FACTIBLE</b> |


Realizado por: Asan, M; Quevedo, D., 2023

**Tabla 6-3:** Pruebas en el agarre tipo diagonal volar

| Tipos de agarre | Objetos   | Pruebas          | Puntuación            |
|-----------------|---|------------------|-----------------------|
| Diagonal volar  | <b>T06</b><br> | Prueba 1         | 0                     |
|                 |   | Prueba 2         | 0                     |
|                 |   | Prueba 3         | 0                     |
|                 |   | Prueba 4         | 0                     |
|                 |   | Prueba 5         | 0                     |
|                 |   | <b>RESULTADO</b> | <b>NO ES FACTIBLE</b> |
|                 | <b>T15</b><br> | Prueba 1         | 0                     |
|                 |   | Prueba 2         | 0                     |
|                 |   | Prueba 3         | 0                     |
|                 |   | Prueba 4         | 0                     |
|                 |   | Prueba 5         | 0                     |
|                 |   | <b>RESULTADO</b> | <b>NO ES FACTIBLE</b> |
|                 | <b>T24</b><br> | Prueba 1         | 0                     |
|                 |   | Prueba 2         | 0                     |
|                 |   | Prueba 3         | 0                     |
|                 |   | Prueba 4         | 0                     |
|                 |   | Prueba 5         | 0                     |
|                 |   | <b>RESULTADO</b> | <b>NO ES FACTIBLE</b> |




Realizado por: Asan, M; Quevedo, D., 2023

**Tabla 7-3:** Pruebas en el agarre tipo lateral

| Tipos de agarre | Objetos   | Pruebas          | Puntuación            |
|-----------------|---|------------------|-----------------------|
| Lateral         | <b>T07</b><br> | Prueba 1         | 0                     |
|                 |   | Prueba 2         | 0.5                   |
|                 |   | Prueba 3         | 0.5                   |
|                 |   | Prueba 4         | 0                     |
|                 |   | Prueba 5         | 1                     |
|                 |   | <b>RESULTADO</b> | <b>NO ES FACTIBLE</b> |
|                 | <b>T16</b><br> | Prueba 1         | 0                     |
|                 |   | Prueba 2         | 0                     |
|                 |   | Prueba 3         | 0                     |
|                 |   | Prueba 4         | 0                     |
|                 |   | Prueba 5         | 0                     |
|                 |   | <b>RESULTADO</b> | <b>NO ES FACTIBLE</b> |
|                 | <b>T25</b><br> | Prueba 1         | 0                     |
|                 |   | Prueba 2         | 0                     |
|                 |   | Prueba 3         | 0                     |
|                 |   | Prueba 4         | 0                     |
|                 |   | Prueba 5         | 0                     |
|                 |   | <b>RESULTADO</b> | <b>NO ES FACTIBLE</b> |


Realizado por: Asan, M; Quevedo, D., 2023

**Tabla 8-3:** Pruebas en el agarre tipo pulp pinch

| Tipos de agarre | Objetos   | Pruebas          | Puntuación            |
|-----------------|---|------------------|-----------------------|
| Pulp pinch      | <b>T08</b><br> | Prueba 1         | 0                     |
|                 |   | Prueba 2         | 0.5                   |
|                 |   | Prueba 3         | 0                     |
|                 |   | Prueba 4         | 0.5                   |
|                 |   | Prueba 5         | 0                     |
|                 |   | <b>RESULTADO</b> | <b>NO ES FACTIBLE</b> |
|                 | <b>T17</b><br> | Prueba 1         | 0                     |
|                 |   | Prueba 2         | 0.5                   |
|                 |   | Prueba 3         | 0                     |
|                 |   | Prueba 4         | 0                     |
|                 |   | Prueba 5         | 0.5                   |
|                 |   | <b>RESULTADO</b> | <b>NO ES FACTIBLE</b> |
|                 | <b>T26</b><br> | Prueba 1         | 0                     |
|                 |   | Prueba 2         | 0                     |
|                 |   | Prueba 3         | 0                     |
|                 |   | Prueba 4         | 0                     |
|                 |   | Prueba 5         | 0                     |
|                 |   | <b>RESULTADO</b> | <b>NO ES FACTIBLE</b> |

Realizado por: Asan, M; Quevedo, D., 2023

**Tabla 9-3:** Pruebas en el agarre tipo índice apretando/presionando

| Tipos de agarre              | Objetos  | Pruebas   | Puntuación     |
|------------------------------|--|-----------|----------------|
| Índice apretando/presionando | <p>T09</p>  | Prueba 1  | 0              |
|                              |  | Prueba 2  | 0.5            |
|                              |  | Prueba 3  | 0              |
|                              |  | Prueba 4  | 0              |
|                              |  | Prueba 5  | 0              |
|                              |  | RESULTADO | NO ES FACTIBLE |

Realizado por: Asan, M; Quevedo, D., 2023

**Tabla 10-3:** Pruebas en el agarre tipo plataforma

| Tipos de agarre | Objetos  | Pruebas   | Puntuación     |
|-----------------|--|-----------|----------------|
| Plataforma      | <p>T18</p>  | Prueba 1  | 0.5            |
|                 |  | Prueba 2  | 0.5            |
|                 |  | Prueba 3  | 1              |
|                 |  | Prueba 4  | 1              |
|                 |  | Prueba 5  | 1              |
|                 |  | RESULTADO | SI ES FACTIBLE |

Realizado por: Asan, M; Quevedo, D., 2023

### 3.2 Ergonomía de la prótesis

#### 3.2.1 Análisis del material

El análisis del material es fundamental para la ergonomía para ello, se analizó y se seleccionó el material PLA para la fabricación de los dedos y del brazaletes. Mientras que, para la fabricación de la palma se consideró el TPU debido a la flexibilidad. Ambos materiales no tienen precedentes en cuanto a toxicidad se refiere. Se recomienda al usuario realizar un chequeo visual del muñón al retirarse la prótesis para prevenir algún tipo de alergias.

**Tabla 11-3:** Tipos de materiales

| Abreviatura | Nombre Completo                                 | Propiedades mecánicas según proveedor  | Propiedades de toxicidad   |   |        |        |
|-------------|---|--|--|---|--------|--------|
|             |   |  | Nombre y Afección  | Clasificación   | VLEP   | VLECP  |
| ABS         | Acrilnitrilo, polímero con Butadieno y Estireno | Módulo de elasticidad a la tracción: 2030 [Mpa]<br>Esfuerzo de tracción a la deformación: 43.6 [Mpa]   | Acrilnitrilo: Dato a sistema nervioso central, irritación del tracto respiratorio inferior                         | A1 (carcinógeno animal)<br>TWA (piel)   | 2 ppm  |        |
|             |   |  | Butadieno: Carcinógeno   | A2 (sospechoso carcinógeno humano)  | 2 ppm  |        |
|             |   |  | Estireno: Neurotoxicidad periférica, irritación del tracto respiratorio superior, dato a sistema nervioso central. | A4 (no clasificado como carcinógeno humano)<br>IBE (índice biológico de exposición) | 20 ppm | 40 ppm |
| PLA         | Ácido Poliláctico                               | Módulo de elasticidad a la tracción: 2096.5 [Mpa]<br>Esfuerzo de tracción a la deformación: 49.3 [Mpa] | El ácido Láctico no es tóxico  |   |        |        |
| TPU         | Políuretano                                     | Módulo de elasticidad a la tracción: 36 [Mpa]<br>Resistencia a la rotura - tracción: 19 [Mpa]          | Ureano: Seguro de usarse bajo ciertas condiciones  |   |        |        |

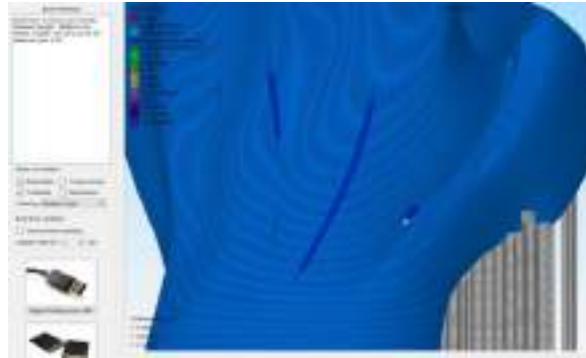
Fuente: (Salazar, 2019, p32)

Realizado por: Asan, M; Quevedo, D., 2023

#### 3.2.2 Peso de la prótesis



El análisis del peso está en función del tamaño de la prótesis y del relleno configurado en el software al momento de la impresión.

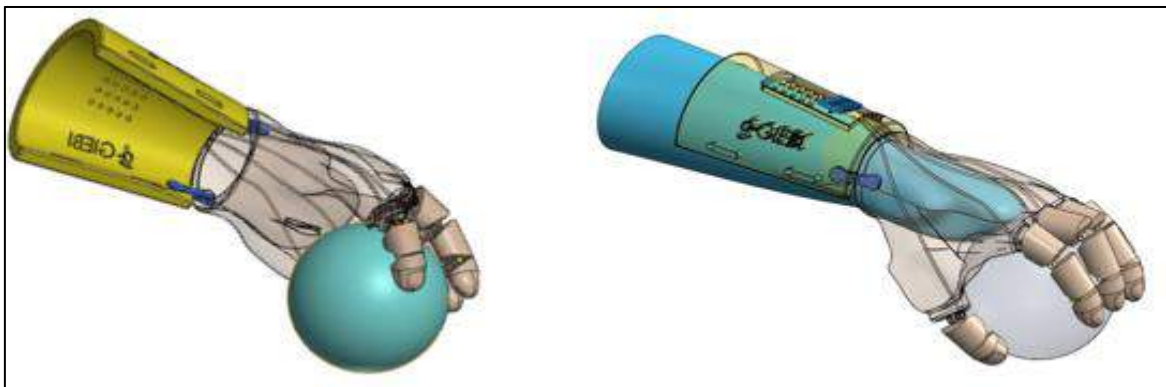


**Ilustración 1-3:** Análisis de la mano.

Realizado por: Asan, M; Quevedo, D., 2023

### 3.2.3 Estudio de la comodidad

El estudio de la comodidad empieza con un análisis del tamaño del muñón, puesto que debido a la amputación transmetacarpal de la mano, el muñón es considerablemente más pequeño al tamaño de la palma original. Por tal motivo, se procedió a diseñar un socket teniendo en cuenta una distribución uniforme de esfuerzos cuando la persona aplique una fuerza. Además, cuenta con un brazalete ergonómico impreso a la medida del antebrazo para tener una buena sujeción de la prótesis. Se recomienda para una mejor movilidad y mayor comodidad la utilización de un liner.



**Ilustración 2-3:** Prótesis de la mano.

Realizado por: Asan, M; Quevedo, D., 2023

## 4. CONCLUSIONES

La valoración de la prótesis está realizada con respecto a la norma AHAP, la cual establece distintos tipos de agarres para la validez del diseño de la prótesis, en donde los resultados obtenidos en este diseño fueron satisfactorios en un 60% puesto que el mecanismo implementado es de tipo circunferencial y apto para objetos no mayores a 4 cm y menores a 2 cm. Sin embargo, la capacidad de carga es de 2 kg con posibilidad de ser mejorada aumentando el número de cables hasta 3.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- CARRETERO, J. y GARCÍA, H., 2016,. *FABRICACIÓN, VALIDACIÓN Y REDISEÑO DE UN SOCKET AUTOAJUSTABLE A NIVEL TRANSFEMORAL*. México: UNAM.
- DÍAZ, I., 2008,. *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SOCKET DE MIEMBRO SUPERIOR CON SUSPENSIÓN AJUSTABLE*. México: UNAM.
- IMBINTO, I., PECCIA, C., CONTROZZI, M., CUTTI, A.G., DAVALLI, A., SACCHETTI, R. y CIPRIANI, C., 2016,. Treatment of the partial hand amputation: An engineering perspective. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, vol. 9, pp. 32-48. ISSN 19411189. DOI 10.1109/RBME.2016.2523799.
- LLOP-HARILLO, I., PÉREZ-GONZÁLEZ, A., STARKE, J. y ASFOUR, T., 2019,. The Anthropomorphic Hand Assessment Protocol (AHAP). *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 121. ISSN 09218890. DOI 10.1016/j.robot.2019.103259.
- LOPESINO, D., 2018,. *Análisis y mejora del diseño de una mano protésica*. MADRID: UPM.
- MAW, J., WONG, K. y GILLESPIE, P., 2016,. Hand anatomy. *British Journal of Hospital Medicine*, vol. 77, pp. 2-3. ISSN 17508460. DOI 10.12968/hmed.2016.77.3.C34.

## ANEXO F: PLAN DE MANTENIMIENTO

El plan de mantenimiento se efectuó mediante programación en hojas de Excel.

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

 **Facultad: Mecánica**   
**Escuela: Mecánica**

PRÓTESIS PARA AMPUTACIÓN TRANSMETACARPAL CONTROLADA POR MUÑÓN Y CABLES

PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO



Realizado por:

|               |      |
|---------------|------|
| David Quevedo | 8194 |
| Marco Asán    | 8180 |

**COMENZAR**

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO



Facultad: Mecánica  
Escuela: Mecánica



PRÓTESIS PARA AMPUTACIÓN TRANSMETACARPAL CONTROLADA POR MUÑÓN Y CABLES



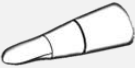
PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO

**Breve descripción:** La prótesis según los protocolos de pruebas tiene una capacidad de carga máxima de 4 kg si es accionada mediante la utilización del muñón y del muñón. Debido al tipo de material con que se fabricó cada elemento, dicha prótesis requiere de un cierto nivel de atención en su mantenimiento para que tenga un buen rendimiento en sus acciones.

**Indicaciones:** Para revisar las indicaciones y frecuencia de mantenimiento, **DE CLICK** en el nombre del tipo de mantenimiento que usted requiere




| Elemento                          | Gráfico | Tipo de Mantenimiento Requerido |            |
|-----------------------------------|---------|---------------------------------|------------|
| Muñón                             |         | RECOMENDACIONES PARA EL CUIDADO |            |
| Brazalote                         |         | PREVENTIVO                      | CORRECTIVO |
| Articulación Brazalote-Mano       |         | PREVENTIVO                      | CORRECTIVO |
| Mano                              |         | PREVENTIVO                      | CORRECTIVO |
| Dedos                             |         | PREVENTIVO                      | CORRECTIVO |
| Nylon                             |         | PREVENTIVO                      | CORRECTIVO |
| Elastano                          |         | PREVENTIVO                      | CORRECTIVO |
| Tornillos de anclaje              |         | PREVENTIVO                      | CORRECTIVO |
| Pin - Articulación entre falanges |         | PREVENTIVO                      | CORRECTIVO |
| Arnés                             |         | PREVENTIVO                      | CORRECTIVO |

Las letras:  
A, B, C, D, E,  
F, G, H, I, J;  
son etiquetas  
para una breve  
explicación de  
la hoja de  
cálculo Excel.




|  |  | <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  |  |  |        |
|---|--|--|--|---|--------|
| <b>ESCUELA de INGENIERIA MECÁNICA</b>   |  | <b>GRUPO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS EN BIOINGENIERIA</b>  |  |   |        |
| <b>MUÑÓN</b>  |  |  |  |   |        |
|  |  | El muñón es la porción restante del miembro amputado, para el estudio presente se realizó una prótesis para <b>amputación transmetacarpal</b> , en donde la persona tiene una porción de la palma para accionar el mecanismo. El cuidado del muñón debe ser muy riguroso y este va a depender del tipo de cirugía. |  |   |        |
| ITEMS   | PROCEDIMIENTO  | FRECUENCIA   | RECOMENDACIONES  | COSTO   |        |
| MANTENER EL MUÑÓN LIMPIO Y SECO   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Paños húmedos</li> <li>- Toallas limpias</li> <li>- Alcohol isopropílico</li> </ul>   | Diario   | Es importante mantener el muñón limpio y seco para prevenir infecciones.<br>Lave el muñón suavemente con agua tibia y jabón suave y séquelo bien después.  | \$  | 2.00   |
| CAMBIAR EL VENDAJE  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lavarse bien las manos</li> <li>- Secar bien el muñón</li> <li>- Colocar gasa estéril</li> <li>- Colocar el vendaje autoadhesivo</li> </ul> | Depende del uso  | Se recomienda tener unas vendas en buen estado y ajustadas, además el muñón debe estar lubricado con gel para evitar efectos secundarios.<br>Hay que tener en cuenta que la frecuencia de con que se cambia el vendaje va a depender del trabajo que se realice con la prótesis. Revisar que el vendaje esté seco para <b>prevenir infecciones</b> .   | \$  | 15.00  |
| LINER   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Secar bien el muñón</li> <li>- Colocar el liner</li> <li>- Colocar la prótesis</li> </ul>   |  | El precio del liner es costoso, hay que tener en cuenta que con el vendaje es suficiente para manejar la prótesis, ya que el socket es ergonómico.<br>Es indispensable tener el muñón seco y no se debe aplicar lubricante para evitar contaminación con el sudor  | \$  | 150.00 |
| LUBRICACIÓN   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Limpiar bien el muñón</li> <li>- Aplicar el gel lubricante</li> </ul>   | Depende del uso  | Se recomienda la lubricación del muñón, es importante aplicar el lubricante de manera uniforme y en la cantidad adecuada para evitar que la prótesis se desplace o se desajuste. Además, es importante utilizar un lubricante que esté específicamente diseñado para su uso .<br>Es importante recordar que la lubricación del muñón no debe reemplazar otros cuidados importantes, como la limpieza y el cuidado adecuado del muñón y de la prótesis. También es importante vigilar la piel del muñón para detectar cualquier signo de irritación, lesión o infección.<br>Se debe lubricar al muñón cuando no lleve vendaje ni liner para posteriormente utilizar la prótesis | \$  | 50.00  |

# B




## PREVENTIVO

|                   | <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>   |  |  |         |
|--|---|---|--|---------|
| <b>ESCUELA de INGENIERIA MECÁNICA</b><br><b>GRUPO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS EN BIOINGENIERIA</b> |   |   |  |         |
| <b>BRAZALETE - PREVENTIVO</b>  |   |   |  |         |
|                   | Este elemento sirve como anclaje y es el nexo entre la prótesis y el muñón, en él va conectado un par de articulaciones que une la mano y el brazaleta además este elemento va sujeto al brazo mediante un par de correas. Este elemento se imprimió con un relleno del 50% y con malla lineal. |   |  |         |
| ITEMS  | TAREAS  | FRECUENCIA  | RECOMENDACIONES  | COSTO   |
| Limpieza   | El brazaleta debe estar limpio y seco, en especial la parte que está en contacto con la piel.   | Diario  | - Se recomienda tener seco el brazaleta puesto que si se deja en contacto con la humedad, este se vuelve frágil.<br>- Secar bien la parte que está en contacto con la piel para evitar la generación de hongos y alergias. | \$ 2.00 |
| Inspección   | Se debe realizar una inspección Continua de los tornillos de anclaje en el brazaleta ya que pueden causar fisuras debido al apriete.<br>Reavisar que el brazo esté bien sujeto con las correas.   | Diario  |  |         |
| Fijación   | Los tornillos de anclaje deben estar bien apretados<br>La correa debe estar bien apretada para que no se afloje.  | Diario  | Los tornillos de anclaje son de 1/4 con arandelas para que sujeten los cables de nylon   |         |




## CORRECTIVO

|                 | <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>   |  |   |          |
|--|---|---|---|----------|
| <b>ESCUELA de INGENIERIA MECÁNICA</b><br><b>GRUPO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS EN BIOINGENIERIA</b> |   |   |   |          |
| <b>BRAZALETE - CORRECTIVO</b>  |   |   |   |          |
|                 | Este elemento sirve como anclaje y es el nexo entre la prótesis y el muñón, en él va conectado un par de articulaciones que une la mano y el brazaleta además este elemento va sujeto al brazo mediante un par de correas. Este elemento se imprimió con un relleno del 50% y con malla lineal. |   |   |          |
| ITEMS  | TAREAS  | FRECUENCIA  | RECOMENDACIONES   | COSTO    |
| Inspección   | Si se presenta fisuras en el anclaje, se recomienda cambiar el lugar del tornillo donde presente la fisura o imprimir nuevamente si no hay remedio.   | Semanalmente  | No se recomienda imprimir al 100% de relleno este elemento puesto que el PLA es frágil. | \$ 30.00 |

## PREVENTIVO




|  | <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>   |            |   |  |
|---|---|------------|---|---|
|   | <b>ESCUELA de INGENIERIA MECÁNICA</b><br><b>GRUPO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS EN BIOINGENIERIA</b>  |            |   |   |
| <b>ARTICULACIÓN BRAZALETE MANO - PREVENTIVO</b>                                   |   |            |   |   |
|  | Este elemento es el encargado de hacer rotar la mano al momento de aplicar la fuerza el muñón. Este elemento se imprimió al 15% de relleno con una malla lineal y en TPU.   |            |   |   |
| ITEMS   | TAREAS  | FRECUENCIA | RECOMENDACIONES   | COSTO   |
| Limpieza  | El elemento debe estar limpio puesto que si rota en presencia de tierra, este se puede desgastar mucho más rápido y puede producir juego entre el acople y la articulación. | Diario     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Se recomienda tener seco el brazaletes puesto que si se deja en contacto con la humedad, este se vuelve frágil.</li> <li>- Secar bien la parte que está en contacto con la piel para evitar la generación de hongos y alergias.</li> </ul> |   |

## CORRECTIVO




|  | <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>   |            |   |  |
|---|---|------------|---|---|
|   | <b>ESCUELA de INGENIERIA MECÁNICA</b><br><b>GRUPO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS EN BIOINGENIERIA</b>  |            |   |   |
| <b>ARTICULACIÓN BRAZALETE MANO - CORRECTIVO</b>                                     |   |            |   |   |
|  | Este elemento es el encargado de hacer rotar la mano al momento de aplicar la fuerza el muñón. Este elemento se imprimió al 15% de relleno con una malla lineal y en TPU. |            |   |   |
| ITEMS   | TAREAS  | FRECUENCIA | RECOMENDACIONES   | COSTO   |
| Inspección  | Si el elemento se sale continuamente del acople, esto indica que está muy desgastado, se recomienda imprimir nuevamente   | Mensual    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Se debe imprimir en TPU para que el elemento se flexione con la aplicación de la fuerza.</li> <li>- Si el elemento tiene mucho juego con el acople, se recomienda fijar con silicona.</li> </ul> | \$ 5.00   |

# D

## PREVENTIVO

|                   | <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  |  |   |          |
|--|--|---|---|----------|
| <b>ESCUELA de INGENIERIA MECÁNICA</b><br><b>GRUPO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS EN BIOINGENIERIA</b> |  |   |   |          |
| <b>MANO - PREVENTIVO</b>   |  |   |   |          |
|                   | Este elemento tiene un diseño ergonómico ya que se adapta a la geometría del muñón del paciente. Para que la persona lo pueda utilizar se recomienda imprimir en TPU. Este elemento se imprimió con 50% de relleno y malla lineal. |   |   |          |
| ITEMS  | TAREAS   | FRECUENCIA  | RECOMENDACIONES   | COSTO    |
| Limpieza   | El socket debe estar limpio y seco   | Diario  | - Se recomienda tener seco el brazalette puesto que si se deja en contacto con la humedad, este se vuelve frágil.<br>- Secar bien la parte que está en contacto con la piel para evitar la generación de hongos y alergias. |          |
| Lubricación  | - Los agujeros por donde pasan los cables deben estar lubricados para que la fricción no provoque calor y se derrita el polímero.<br>- Si se requiere el socket debe estar lubricado.  | Semanalmente  | - Se recomienda un lubricante automotriz de silicona para los agujeros por donde pasan los cables puesto que es más económico.<br>- En el socket se recomienda estrictamente lubricante protésico                           | \$ 50.00 |
| Inspección   | Revisar que la holgura existente entre el acople y la articulación sea nula, es decir exista un ajuste a presión.  | Diario  |   |          |




## CORRECTIVO

|                 | <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  |  |                 |          |
|--|--|---|-----------------|----------|
| <b>ESCUELA de INGENIERIA MECÁNICA</b><br><b>GRUPO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS EN BIOINGENIERIA</b> |  |   |                 |          |
| <b>MANO - PREVENTIVO</b>   |  |   |                 |          |
|                 | Este elemento tiene un diseño ergonómico ya que se adapta a la geometría del muñón del paciente. Para que la persona lo pueda utilizar se recomienda imprimir en TPU. Este elemento se imprimió con 50% de relleno y malla lineal. |   |                 |          |
| ITEMS  | TAREAS   | FRECUENCIA  | RECOMENDACIONES | COSTO    |
| Inspección   | Si el lubricante de los cables llega al muñón, se debe imprimir nuevamente la pieza.   | Diario  |                 | \$ 60.00 |






# E

## PREVENTIVO



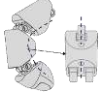
|                   | <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  |  |  |         |
|--|--|---|--|---------|
| <b>ESCUELA de INGENIERIA MECÁNICA</b><br><b>GRUPO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS EN BIOINGENIERIA</b> |  |   |  |         |
| <b>FALANGES - PREVENTIVO</b>   |  |   |  |         |
|                   | Cada falange es la responsable de sujetar los objetos. Este elemento fue impreso a 20% de relleno y malla lineal.  |   |  |         |
| ITEMS  | TAREAS   | FRECUENCIA  | RECOMENDACIONES  | COSTO   |
| Limpieza   | Realizar una limpieza superficial de cada falange  | Diario  | - Se recomienda que cada falange esté limpia para que no se fisure   |         |
| Lubricación  | - Los agujeros por donde pasan los cables deben estar lubricados para que la fricción no provoque calor y se derrita el polímero.<br>- Los agujeros por donde pasan los pines deben estar... | Semanalmente  | El tipo de lubricante recomendado es el automotriz con silicona.   | \$ 5.00 |
| Inspección   | - Revisar que debido a esfuerzos no tenga exceso de juego en los taladros de los pines.<br>- Realizar una inspección visual de los cables para que se deslicen sin problemas                 | Diario  | Tener en cuenta la carga máxima de la prótesis ya que se producen altos esfuerzos y puede causar accidentes. |         |

## CORRECTIVO



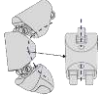
|                 | <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>   |  |   |          |
|--|---|---|---|----------|
| <b>ESCUELA de INGENIERIA MECÁNICA</b><br><b>GRUPO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS EN BIOINGENIERIA</b> |   |   |   |          |
| <b>FALANGES - CORRECTIVO</b>   |   |   |   |          |
|                 | Cada falange es la responsable de sujetar los objetos. Este elemento fue impreso a 20% de relleno y malla lineal. |   |   |          |
| ITEMS  | TAREAS  | FRECUENCIA  | RECOMENDACIONES   | COSTO    |
| Inspección   | Si las falanges presentan fisuras se debe imprimir nuevamente la pieza afectada.                                  | Semanalmente  | Se recomienda imprimir cada falange con un relleno de 50% y en PLA. | \$ 40.00 |

**F**

**PREVENTIVO**




|  | <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>   |                     |  |  |
|---|---|---------------------|--|---|
|   | <b>ESCUELA de INGENIERIA MECÁNICA</b><br>GRUPO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS EN BIOINGENIERIA                                       |                     |  |   |
| <b>NYLON - PREVENTIVO</b>   |   |                     |  |   |
|  | El nylon es de 0.70 mm y resiste 27.1 kg  |                     |  |   |
| ITEMS   | TAREAS  | FRECUENCIA          | RECOMENDACIONES  | COSTO   |
| Lubricación   | - Los agujeros por donde pasan los cables deben estar lubricados para que la fricción no provoque calor y se derrita el polímero. | 3 veces cada semana | El tipo de lubricante recomendado es el automotriz con silicona. | \$ 5.00   |
| Inspección  | - Revisar si el nylon está en buenas condiciones luego de levantar una carga pesada   | Diario              |  |   |

**CORRECTIVO**




|  | <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>   |            |   |  |
|---|---|------------|---|---|
|   | <b>ESCUELA de INGENIERIA MECÁNICA</b><br>GRUPO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS EN BIOINGENIERIA |            |   |   |
| <b>NYLON - CORRECTIVO</b>   |   |            |   |   |
|  | El nylon es de 0.70 mm y resiste 27.1 kg  |            |   |   |
| ITEMS   | TAREAS  | FRECUENCIA | RECOMENDACIONES   | COSTO   |
| Inspección  | - Revisar si el nylon está en buenas condiciones luego de levantar una carga pesada         | Según uso  | Si el nylon se estira luego de alguna carga, se recomienda cambiar de cable para evitar accidentes. | \$ 2.00   |

# G

## PREVENTIVO




|  | <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b><br><b>ESCUELA de INGENIERIA MECÁNICA</b><br><b>GRUPO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS EN BIOINGENIERIA</b>   |  |   |       |
|---|---|---|---|-------|
| <b>ELASTANO - PREVENTIVO</b>  |   |   |   |       |
|  | Este elemento es un elastano textil de 1,5 cm. Es el encargado del retorno del dedo a la posición fijada luego de haber aplicado la tensión con el nylon. |   |   |       |
| ITEMS   | TAREAS  | FRECUENCIA  | RECOMENDACIONES   | COSTO |
| Limpieza  | - Revisar que el elástico esté limpio y seco  | Diario  |   |       |
| Inspección  | Revisar que el elástico esté en perfectas condiciones para que no se rompa y cause daños a los demás elementos.   | Diario  | El elastano debe estar sin roturas ya que se deshilacha |       |

## CORRECTIVO




|  | <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b><br><b>ESCUELA de INGENIERIA MECÁNICA</b><br><b>GRUPO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS EN BIOINGENIERIA</b>   |  |   |         |
|---|---|---|---|---------|
| <b>ELASTANO - CORRECTIVO</b>  |   |   |   |         |
|  | Este elemento es un elastano textil de 1,5 cm. Es el encargado del retorno del dedo a la posición fijada luego de haber aplicado la tensión con el nylon. |   |   |         |
| ITEMS   | TAREAS  | FRECUENCIA  | RECOMENDACIONES   | COSTO   |
| Inspección  | Cambiar el elástico si está roto  | Semanalmente  | Se recomienda un elástico de 1,5 cm y pegarlo al dedo mediante adhesivos líquidos (super bonde) | \$ 4.00 |

# H

## PREVENTIVO




|            | <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  |  |   |         |
|---|--|---|---|---------|
| <b>ESCUELA de INGENIERIA MECÁNICA</b><br>GRUPO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS EN BIOINGENIERIA |  |   |   |         |
| <b>TORNILLOS - PREVENTIVO</b>   |  |   |   |         |
|            | Los tornillos son de 1/8 con arandelas   |   |   |         |
| ITEMS   | TAREAS   | FRECUENCIA  | RECOMENDACIONES   | COSTO   |
| Limpieza  | - Limpie los tornillos regularmente para eliminar cualquier elemento contaminante y humedad. | Diario  | Se recomienda limpiar los tornillos con un cepillo suave para eliminar agentes externos abrasivos.                | \$ 2.00 |
| Inspección  | Revise los tornillos periódicamente para evitar daños y oxidación en la rosca.               | Diario  | se recomienda secar los tornillos para evitar que se oxiden y se gasten en un tiempo menor al estimado.           |         |
| Ajuste  | Ajustar los tornillos continuamente para que no se aflojen los cables                        | Diario  |   |         |
| Lubricación   | - No requieren lubricación   |   | No es necesario lubricar a los tornillos puesto que son muy pequeños, además que el PLA absorbería el lubricante. |         |

## CORRECTIVO




|          | <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>             |  |   |         |
|---|---|---|---|---------|
| <b>ESCUELA de INGENIERIA MECÁNICA</b><br>GRUPO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS EN BIOINGENIERIA |   |   |   |         |
| <b>TORNILLOS - CORRECTIVO</b>   |   |   |   |         |
|          | Los tornillos son de 1/8 con arandelas                        |   |   |         |
| ITEMS   | TAREAS  | FRECUENCIA  | RECOMENDACIONES   | COSTO   |
| Inspección  | Si los tornillos presentan corrosión, es necesario cambiarlos | mensual   | Se recomienda cambiarlos mensualmente o por lo menos cada 2 meses para que tengan un buen agarre. | \$ 0.05 |

# I

## PREVENTIVO




|                   | <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  |            |  |  |
|--|--|------------|--|---|
| <b>ESCUELA de INGENIERIA MECÁNICA</b><br><b>GRUPO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS EN BIOINGENIERIA</b> |  |            |  |   |
| <b>Pin de Rotación entre Falanges- PREVENTIVO</b>  |  |            |  |   |
|                   | Los pines son un ajuste de los remaches de 1/8 de aluminio   |            |  |   |
| ITEMS  | TAREAS   | FRECUENCIA | RECOMENDACIONES  | COSTO   |
| Limpieza   | - Antes de acoplar el pin asegurarse que está limpio y seco.   |            | Se recomienda secar bien la perforación donde va el pin.                                     |   |
| Asegurar   | Una vez instalado el pin en la perforación se debe asegurar el pin con silicona en los extremos para evitar que se salgan. | Semanal    | Se recomienda asegurar los pines con silicona y cada mes sacar la silicona y revisar el pin. |   |
| Inspección   | Quitar la silicona y revisar el pin (deformaciones y corrosión)  | Trimestral | Se recomienda retirar la silicona y revisar el pin para evitar que se oxide.                 |   |

## CORRECTIVO




|                 | <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>          |            |   |  |
|--|--|------------|---|---|
| <b>ESCUELA de INGENIERIA MECÁNICA</b><br><b>GRUPO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS EN BIOINGENIERIA</b> |  |            |   |   |
| <b>Pin de Rotación entre Falanges- PREVENTIVO</b>  |  |            |   |   |
|                 | Los pines son un ajuste de los remaches de 1/8 de aluminio |            |   |   |
| ITEMS  | TAREAS   | FRECUENCIA | RECOMENDACIONES   | COSTO   |
| Inspección   | Cambiar el pin si está deformado o corroído                | Trimestral | Se recomienda una primera revisión a los 3 meses y posteriormente cada mes para evitar accidentes inesperados por deformaciones del pin | \$ 0.50   |

J

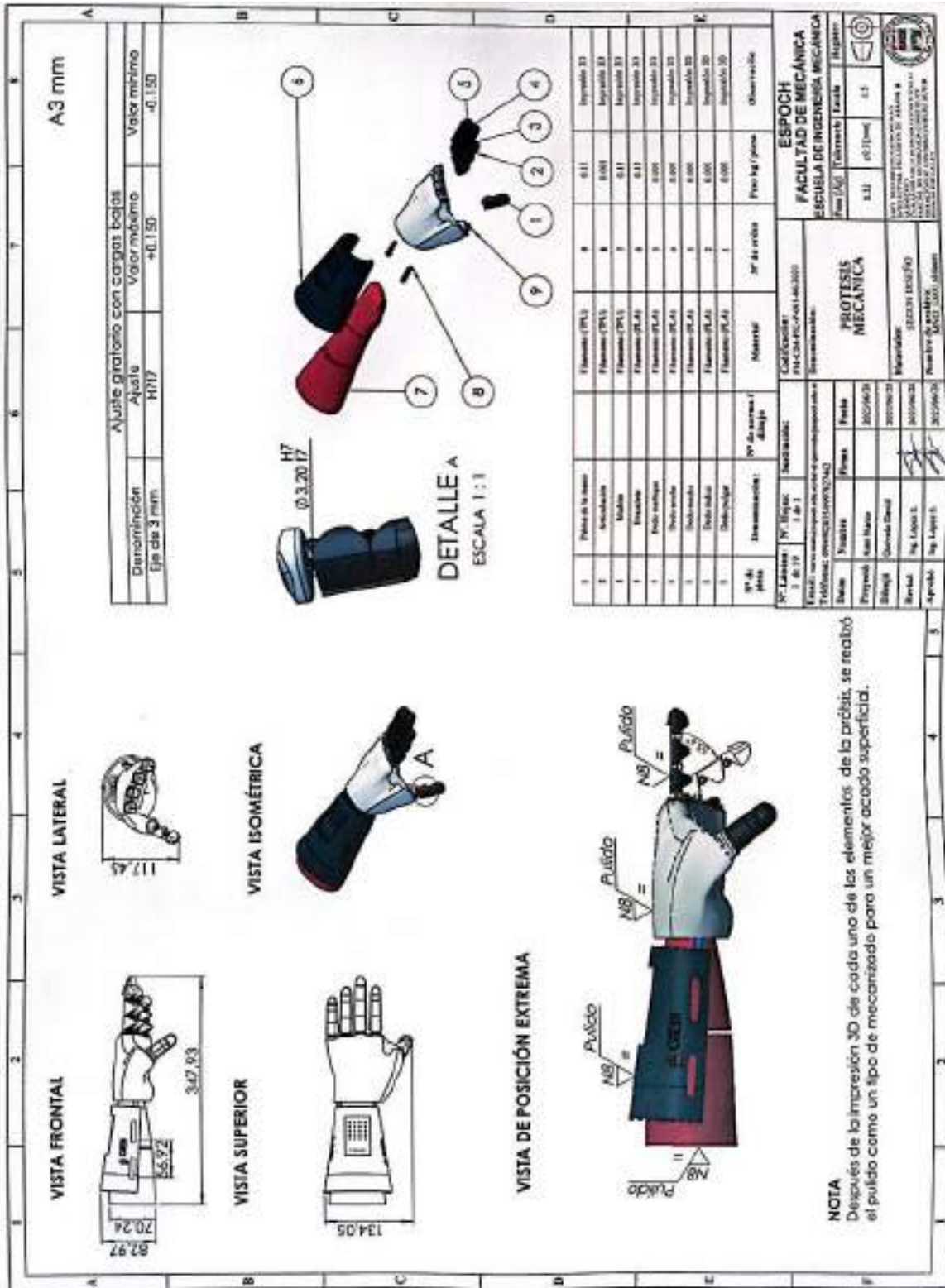
PREVENTIVO

|     | ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO  |  |   |         |
|--|---|---|---|---------|
| ESCUELA de INGENIERIA MECÁNICA<br>GRUPO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS EN BIOINGENIERIA |   |   |   |         |
| ARNÉS - PREVENTIVO   |   |   |   |         |
|     | El arnés tiene una función importante ya que ayuda a elevar la capacidad de carga de la prótesis, puesto que ayuda al muñón a tensionar los cables. |   |   |         |
| ITEMS  | TAREAS  | FRECUENCIA  | RECOMENDACIONES   | COSTO   |
| Limpieza   | - Mantener el arnés limpio  | Diario  |   |         |
| Inspección   | - Revisar rigurosamente que el punto de sujeción con los cables esté en buen estado.<br>- Inspeccionar que el arnés esté en buen estado             | Diario  | se recomienda fijar bien los cables de nylon con el arnés para que al momento de aplicar una elevada fuerza no se rompa y cause accidentes. | \$ 3.00 |

CORRECTIVO

|   | ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO  |  |  |          |
|--|---|---|--|----------|
| ESCUELA de INGENIERIA MECÁNICA<br>GRUPO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS EN BIOINGENIERIA |   |   |  |          |
| ARNÉS - PREVENTIVO   |   |   |  |          |
|   | El arnés tiene una función importante ya que ayuda a elevar la capacidad de carga de la prótesis, puesto que ayuda al muñón a tensionar los cables. |   |  |          |
| ITEMS  | TAREAS  | FRECUENCIA  | RECOMENDACIONES  | COSTO    |
| Inspección   | - Si se detecta que el arnés está muy desgastado se debe cambiar por uno nuevo  | Anual   | Revisar que el arnés esté en optimas condiciones para que cumpla su función. | \$ 30.00 |

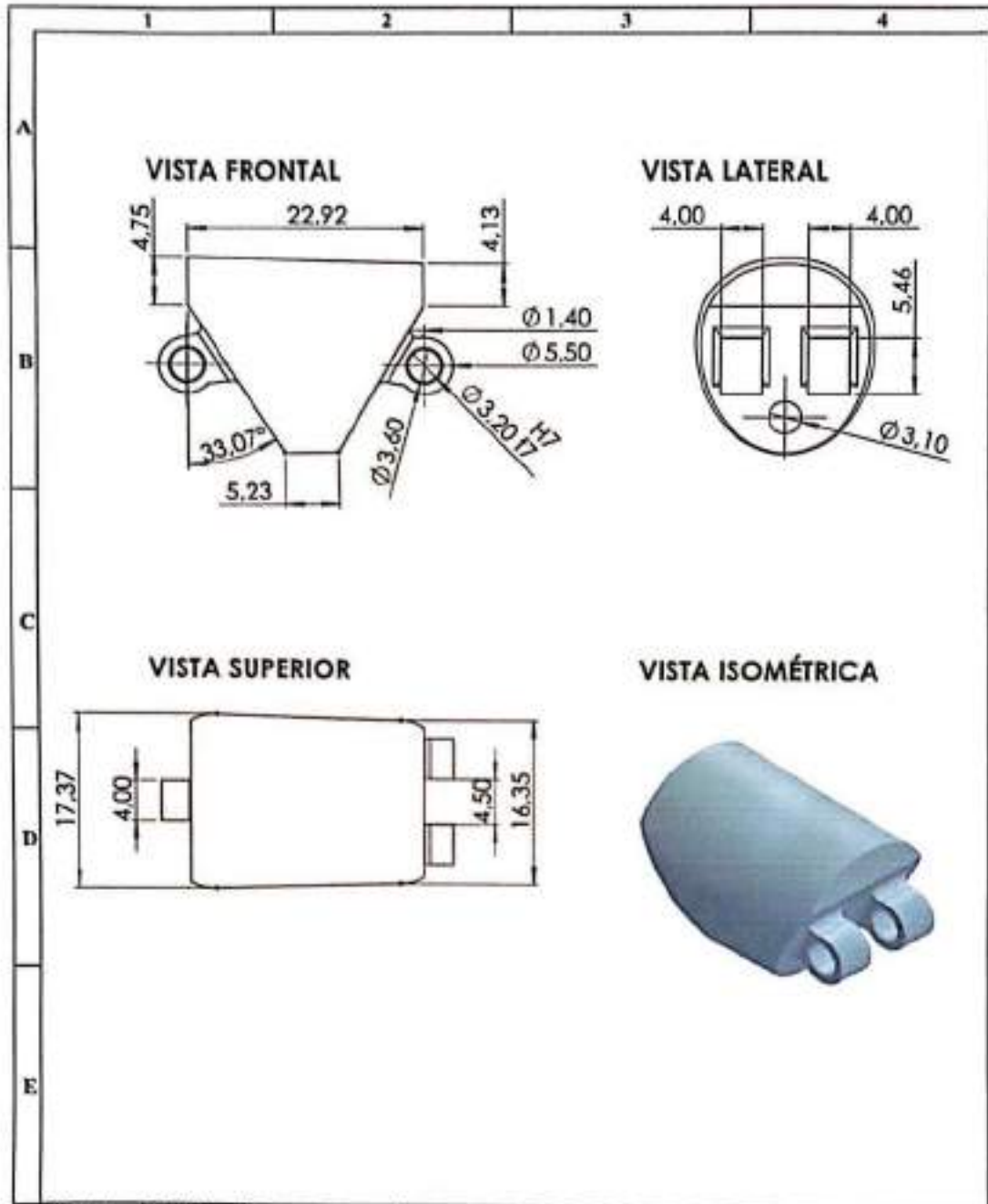
ANEXO G: PLANOS





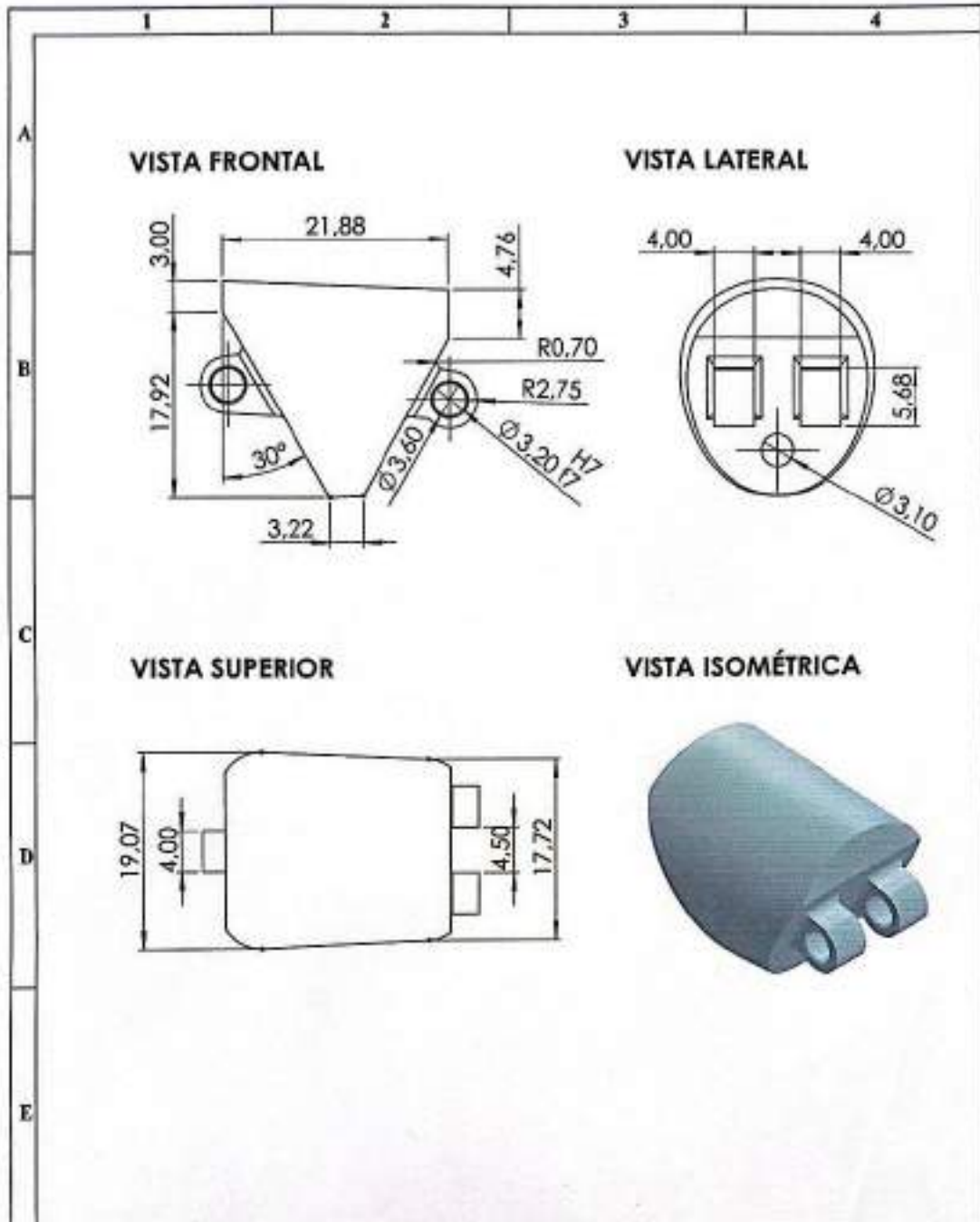




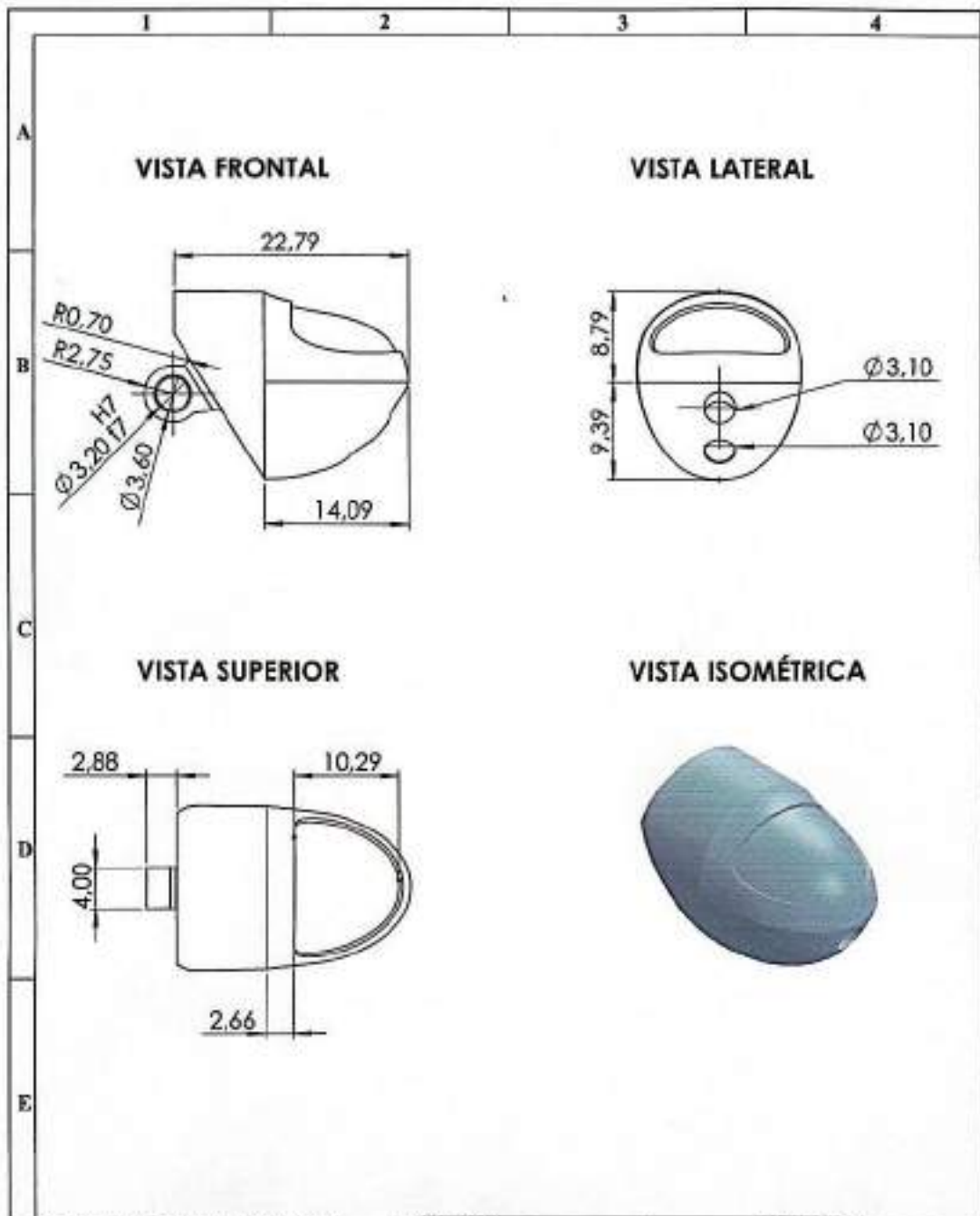


|   |  |                      |  |              |  |   |  |   |  |   |  |                    |  |                   |  |
|---|--|----------------------|--|--------------|--|---|--|---|--|---|--|--------------------|--|-------------------|--|
| N°. Láminas:<br>4 de 19                                     |  | N°. Hojas:<br>1 de 3 |  | Institución: |  | Codificación:<br>FM-CDM PSC-F-001-06-2023 |  | <b>ESPOCH</b><br><b>FACULTAD DE MECÁNICA</b><br><b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> |  |   |  |                    |  |                   |  |
| Email: mauro.azua@esPOCH.edu.ec/terid.quevedo@esPOCH.edu.ec |  |                      |  |              |  | Denominación:                             |  |   |  |   |  | Peso [Kg]          |  | Tolerancia        |  |
| Teléfono: 0994922855/0997327462                             |  |                      |  |              |  | <b>Proximal del dedo índice</b>           |  | 0.001   |  | ±0.3 [mm]   |  | 2:1                |  |                   |  |
| Dato  |  | Nombre               |  | Firma        |  |   |  | Fecha   |  | ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE ASAM M. 4 QUITADO O CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY |  |                    |  |                   |  |
| Proyectó  |  | Ason Marco           |  |              |  |   |  | 2023/06/20  |  |   |  |                    |  |                   |  |
| Dibujó  |  | Quevedo David        |  |              |  |   |  | 2023/06/20  |  |   |  |                    |  |                   |  |
| Revisó  |  | Ing. López S.        |  |              |  | 2023/06/20                                |  |   |  |   |  |                    |  |                   |  |
| Aprobó  |  | Ing. López S.        |  |              |  | 2023/06/20                                |  | Materiales:   |  | SEGUN DISEÑO  |  | Nombre de archivo: |  | MNO_P014-16_aldpt |  |

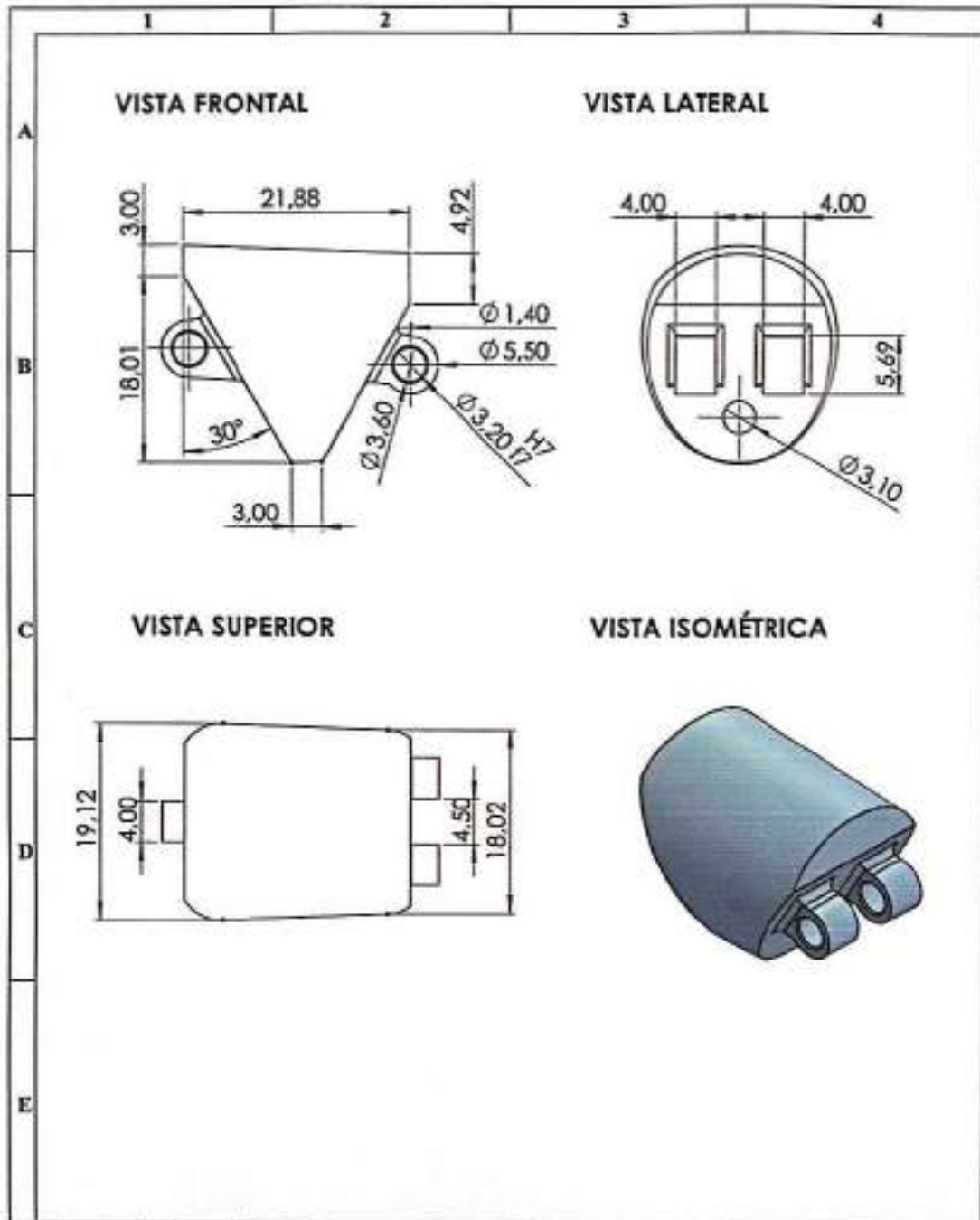




|  |                      |              |   |   |            |        |          |
|--|----------------------|--------------|---|---|------------|--------|----------|
| N°. Lámina:<br>5 de 19   | N°. Hojas:<br>2 de 3 | Sustitución: | Codificación:<br>FM-CBM-FIC-P-001-06-2023     | <b>ESPOCH<br/>FACULTAD DE MECÁNICA<br/>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>   |            |        |          |
| Email: <a href="mailto:marco.azan@esPOCH.edu.ec">marco.azan@esPOCH.edu.ec</a><br>Teléfono: 0944982855/0991827362 |                      |              | Denominación:<br><b>Medio del dedo índice</b> | Peso [Kg]   | Tolerancia | Escala | Registro |
| Datos  | Nombre               | Firma        | Fecha   | 0.001   | ±0.3 [mm]  | 2:1    |          |
| Proyectó   | Azan Marco           |              | 2023/06/20                                    | ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD<br>INTELECTUAL EXCLUSIVA DE ASAN M. A.<br>QUITANDO SU USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O<br>PARCIAL, NO AUTORIZADA CONSTITUYE<br>VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR<br>PENADA POR LA LEY |            |        |          |
| Dibujó   | Quevedo David        |              | 2023/06/20                                    |   |            |        |          |
| Revisó   | Ing. López S.        |              | 2023/06/20                                    |   |            |        |          |
| Aprobó   | Ing. López S.        |              | 2023/06/20                                    | Nombre de archivo:<br>MNO_P014-18.dwg   |            |        |          |

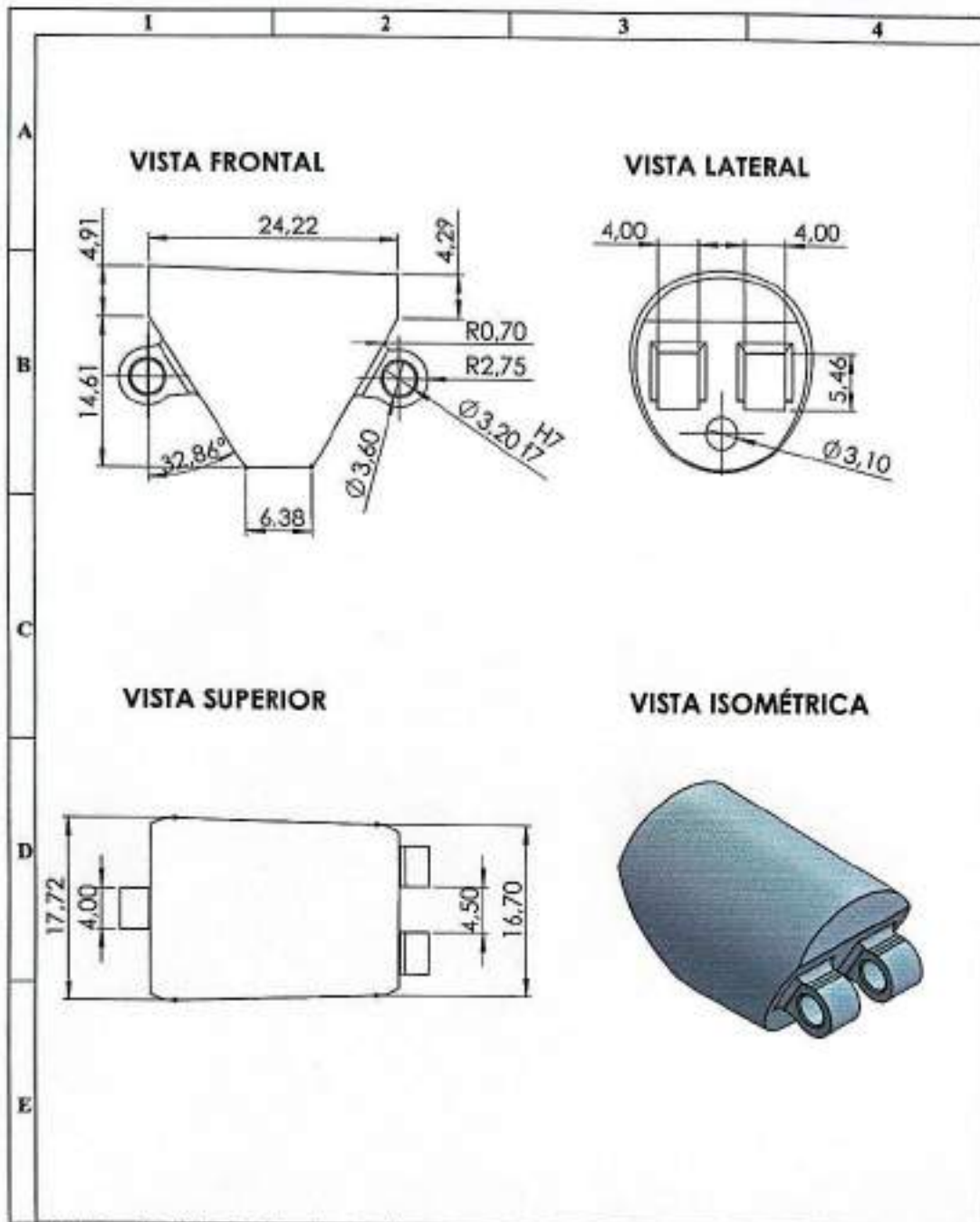


|  |                     |              |  |  |            |        |          |
|--|---------------------|--------------|--|--|------------|--------|----------|
| N° Lámina:<br>6 de 19  | N° Hojas:<br>3 de 3 | Sustitución: | Codificación:<br>FM-CIM-FIC-P-001-06-2023      | <b>ESPOCH</b><br><b>FACULTAD DE MECÁNICA</b><br><b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>  |            |        |          |
| Email: marco.azor@esPOCH.edu.ec / david.quevedo@esPOCH.edu.ec<br>Teléfono: 0994952555/0997821962 |                     |              | Denominación:<br><b>Distal del dedo índice</b> | Peso [Kg]  | Tolerancia | Escala | Registro |
| Datos  | Nombre              | Firma        | Fecha  | 0.000  | ±0.3 [mm]  | 2:1    |          |
| Proyectó   | Azam Marco          |              | 2023/05/20                                     | ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD<br>INTELECTUAL EXCLUSIVA DE ASAPH S.A.<br>CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O<br>PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE<br>VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR<br>PENADA POR LA LEY |            |        |          |
| Dibujó   | Quevedo David       |              | 2023/05/20                                     |  |            |        |          |
| Revisó   | Ing. López S.       |              | 2023/05/20                                     |  |            |        |          |
| Aprobó   | Ing. López S.       |              | 2023/05/20                                     | Nombre de archivo:<br>MNO_P014-17.sldprt   |            |        |          |

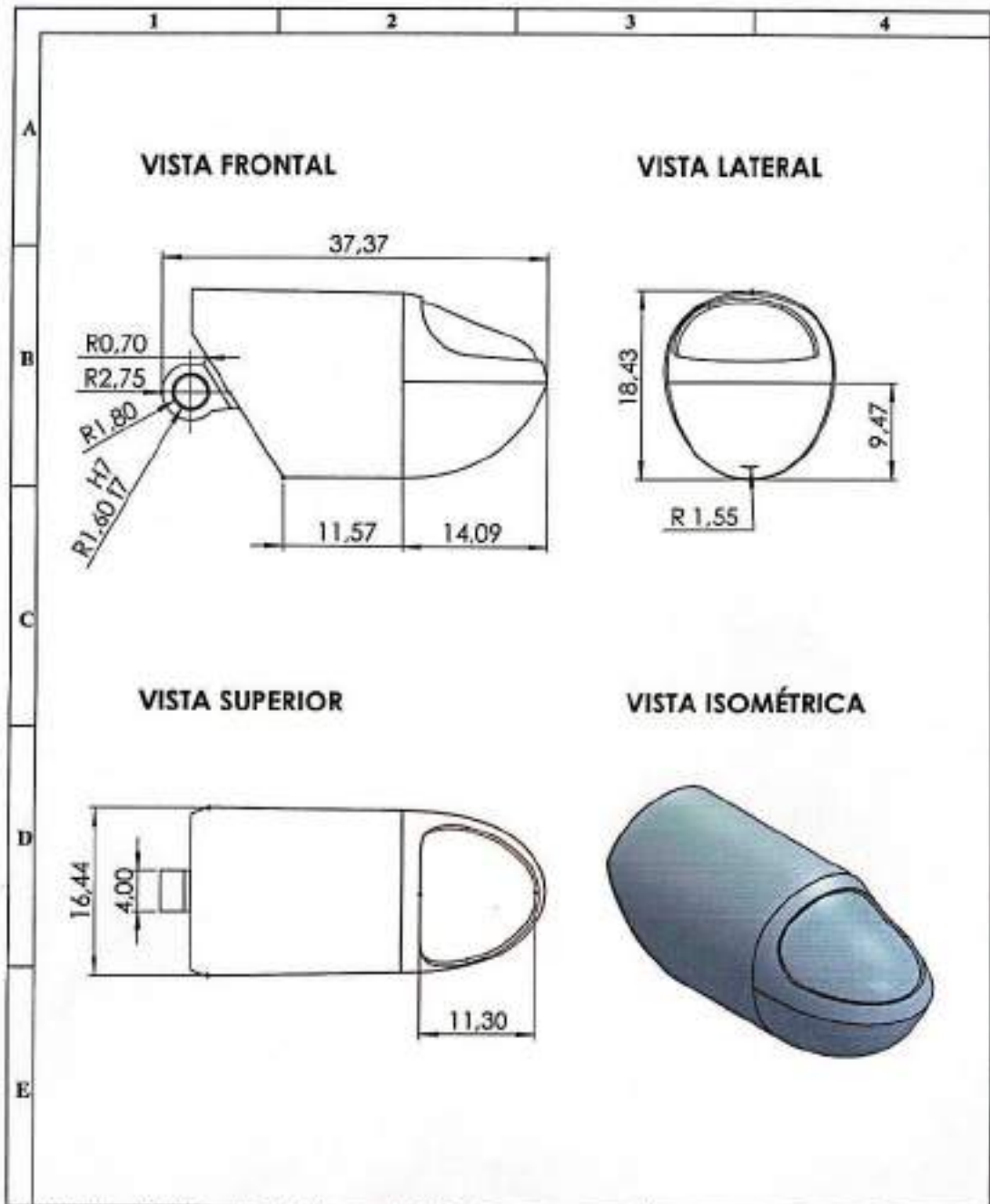


|  |                     |              |   |   |       |   |     |           |
|--|---------------------|--------------|---|---|-------|---|-----|-----------|
| N° Lámina:<br>7 de 19  | N° Hojas:<br>1 de 3 | Sustitución: | Codificación:<br>FM-CIM-PIC-P-001-06-2023           | <b>ESPOCH</b><br><b>FACULTAD DE MECÁNICA</b><br><b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> |       |   |     |           |
| Email: <a href="mailto:masa.aseo@esPOCH.edu.ec">masa.aseo@esPOCH.edu.ec</a> / <a href="mailto:revi.d.quevedo@esPOCH.edu.ec">revi.d.quevedo@esPOCH.edu.ec</a> |                     |              | Denominación:<br><br><b>Proximal del dedo medio</b> |   |       |   |     | Peso [Kg] |
| Teléfono(s): 0994982833 / 0997827462   |                     |              |   |   | 0.001 | ±0.3 [mm]   | 2:1 |           |
| Datos  | Nombre              | Firma        | Fecha   | Materiales:<br>SEGUN DISEÑO   |       | <small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE AIAAM M. &amp; QUETVEDO. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY</small> |     |           |
| Proyectó   | Azan Maco           |              | 2023/06/20  | Nombre de archivo:<br>MNO_P012-11.sldprt  |       |   |     |           |
| Dibujó   | Quevedo David       |              | 2023/06/20  |   |       |   |     |           |
| Revisó   | Ing. López S.       |              | 2023/06/20  |   |       |   |     |           |
| Aprobó   | Ing. López S.       |              | 2023/06/20  |   |       |   |     |           |

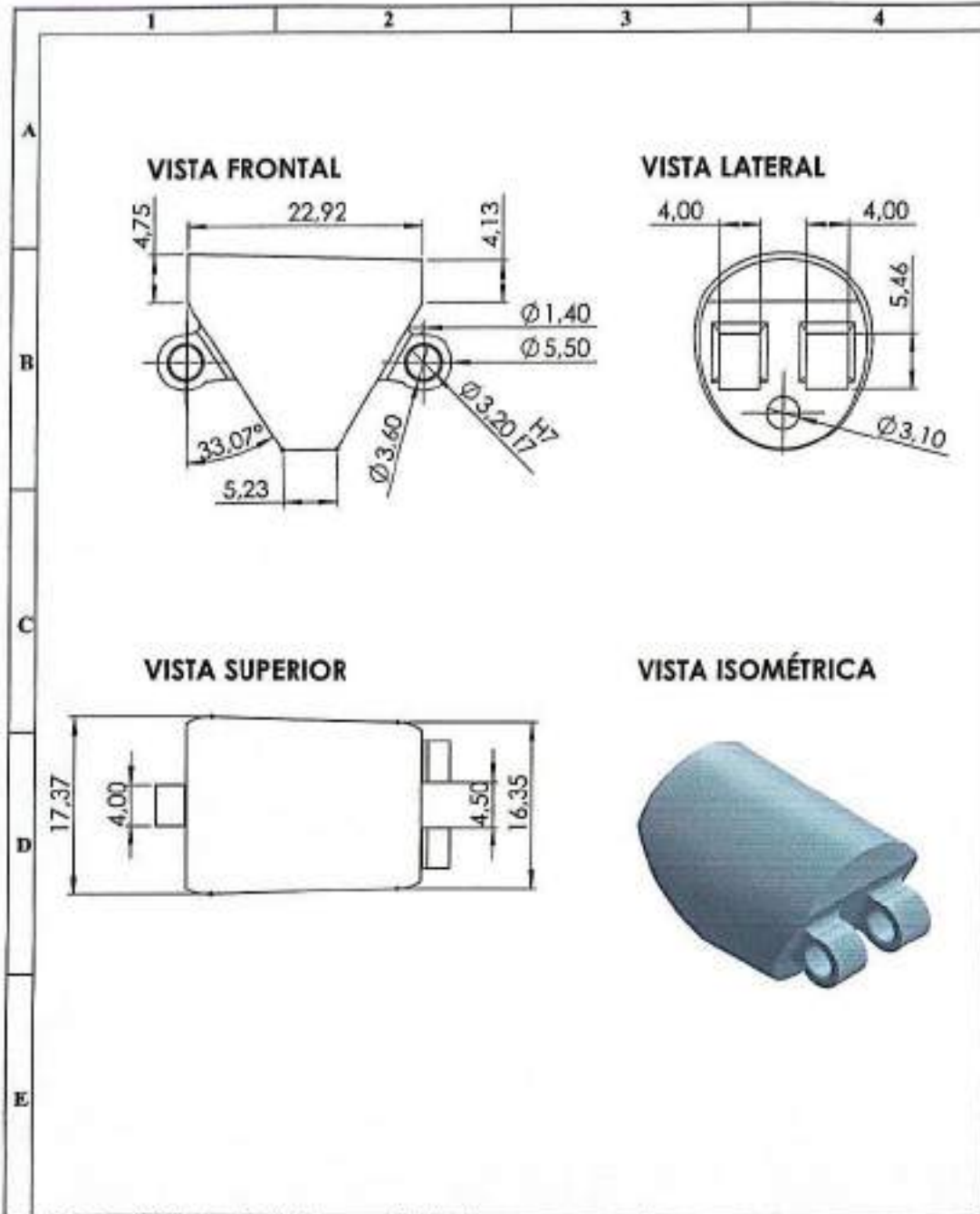




|  |                      |              |  |   |  |   |  |                    |
|--|----------------------|--------------|--|---|--|---|--|--------------------|
| N°. Láminas:<br>8 de 19  | N°. Hojas:<br>2 de 3 | Sustitución: | Codificación:<br>FM-CIM-FIC-P-001-05-2023    | <b>ESPOCH</b><br><b>FACULTAD DE MECÁNICA</b><br><b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> |  |   |  |                    |
| Email: marco.antonio@esPOCH.edu.ec / david.quevedo@esPOCH.edu.ec |                      |              | Denominación:<br><b>Medio del dedo medio</b> |   |  |   |  | Peso [Kg]<br>0.001 |
| Teléfono: 0954982855/0997815662                                  |                      |              |  | Materiales:<br><b>SEGUN DISEÑO</b>  |  | ESTE DOCUMENTO DE PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE ASAMAL & QUEVEDO D. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY |  |                    |
| Datos  | Nombre               | Firma        | Fecha  |   |  |   |  |                    |
| Proyectó   | Asan Marco           |              | 2023/06/20                                   |   |  |   |  |                    |
| Dibujó   | Quevedo David        |              | 2023/06/20                                   |   |  |   |  |                    |
| Revisó   | Ing. López S.        |              | 2023/06/20                                   |   |  |   |  |                    |
| Aprobó   | Ing. López S.        |              | 2023/06/20                                   |   |  |   |  |                    |

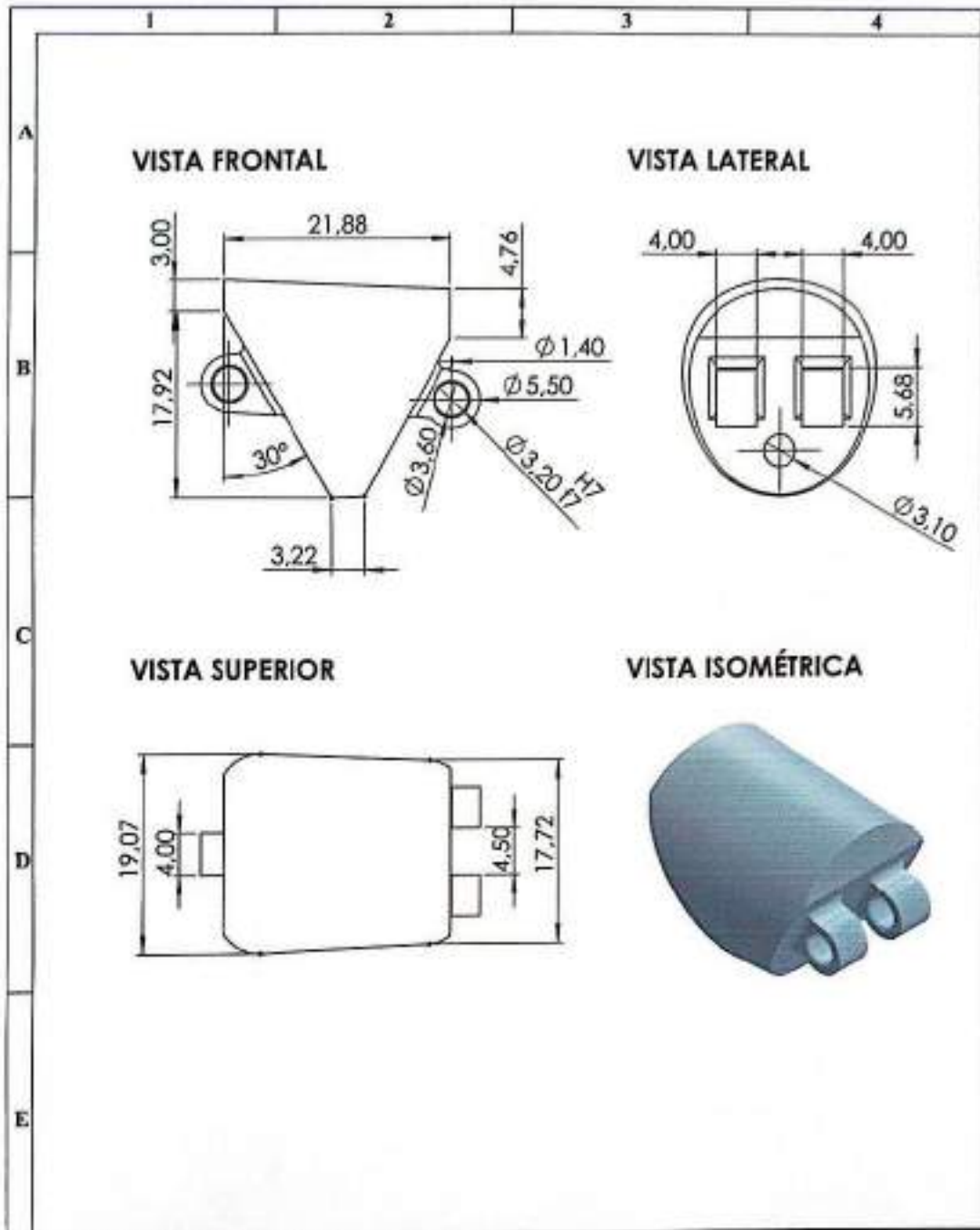


|   |  |                      |  |              |  |   |  |   |  |   |  |           |  |            |  |
|---|--|----------------------|--|--------------|--|---|--|---|--|---|--|-----------|--|------------|--|
| N°. Lámina:<br>9 de 19  |  | N°. Hojas:<br>3 de 3 |  | Sustitución: |  | Codificación:<br>FM-CIM-PIE-P-001-06-2013 |  | <b>ESPOCH</b><br><b>FACULTAD DE MECÁNICA</b><br><b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> |  |   |  |           |  |            |  |
| Email: marco.azar@esPOCH.edu.ec / david.quevedo@esPOCH.edu.ec |  |                      |  |              |  | Denominación:                             |  |   |  |   |  | Peso [Kg] |  | Tolerancia |  |
| Teléfono: 0994823255/0997327462                               |  |                      |  |              |  | Distal del dedo medio                     |  | 0.001   |  | ±0.3 [mm]   |  | 2:1       |  |            |  |
| Datos   |  | Nombre               |  | Firma        |  | Fecha                                     |  | Materiales:   |  | ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE ASAM M & QUEVEDO D. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY |  |           |  |            |  |
| Proyectó  |  | Axar Marco           |  |              |  | 2023/06/10                                |  | SEGUN DISEÑO  |  |   |  |           |  |            |  |
| Dibujó  |  | Quevedo David        |  |              |  | 2023/06/10                                |  | Nombre de archivos:   |  |   |  |           |  |            |  |
| Revisó  |  | Ing. López S.        |  |              |  | 2023/06/10                                |  | MNO_P012-12.sldprt  |  |   |  |           |  |            |  |
| Aprobó  |  | Ing. López S.        |  |              |  | 2023/06/10                                |  |   |  |   |  |           |  |            |  |

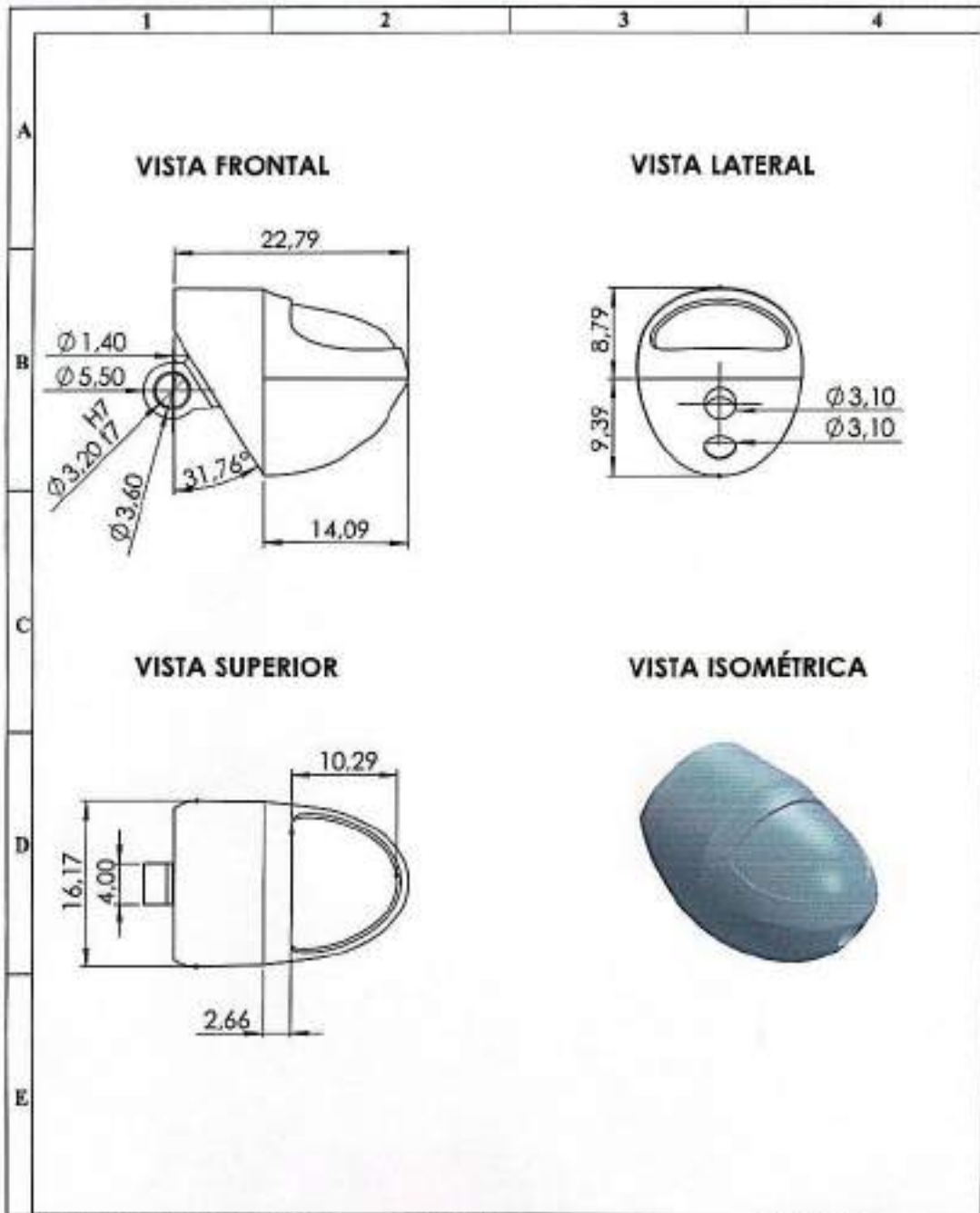


|  |                      |              |   |   |  |  |                  |   |               |                  |
|--|----------------------|--------------|---|---|--|--|------------------|---|---------------|------------------|
| N°. Lámina:<br>10 de 19  | N°. Hojas:<br>1 de 3 | Sustitución: | Codificación:<br>PM-CIN-TC-P-001-08-2023                    | <b>ESPOCH</b><br><b>FACULTAD DE MECÁNICA</b><br><b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> |  |  |                  |   |               |                  |
| Email: <a href="mailto:marco.ana@esPOCH.edu.ec">marco.ana@esPOCH.edu.ec</a> / <a href="mailto:daivid.quevedo@esPOCH.edu.ec">daivid.quevedo@esPOCH.edu.ec</a> |                      |              | <b>Denominación:</b><br><br><b>Proximal del dedo anular</b> |   |  |  | <b>Peso [Kg]</b> | <b>Tolerancia</b>   | <b>Escala</b> | <b>Registros</b> |
| Teléfono: 0994628560/097827663   |                      |              |   |   |  |  | 0.001            | ±0.3 [mm]   | 2:1           |                  |
| <b>Fecha</b>   | <b>Nombre</b>        | <b>Firma</b> | <b>Fecha</b>  | <b>Materiales:</b><br><b>SEGUN DISEÑO</b>   |  |  |                  | ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELECTUAL EXCLUSIVA DE ASAM M.A. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR FIRMADA POR LA SET |               |                  |
| Proyectó   | Asa Marco            |              | 2023/06/20  |   |  |  |                  |   |               |                  |
| Dibujó   | Quevedo David        |              | 2023/06/20  |   |  |  |                  |   |               |                  |
| Revisó   | Ing. López S.        |              | 2023/06/20  |   |  |  |                  |   |               |                  |
| Aprobó   | Ing. López S.        |              | 2023/06/20  | <b>Nombre de archivo:</b><br>MNO_F014-16aldpjt  |  |  |                  |   |               |                  |

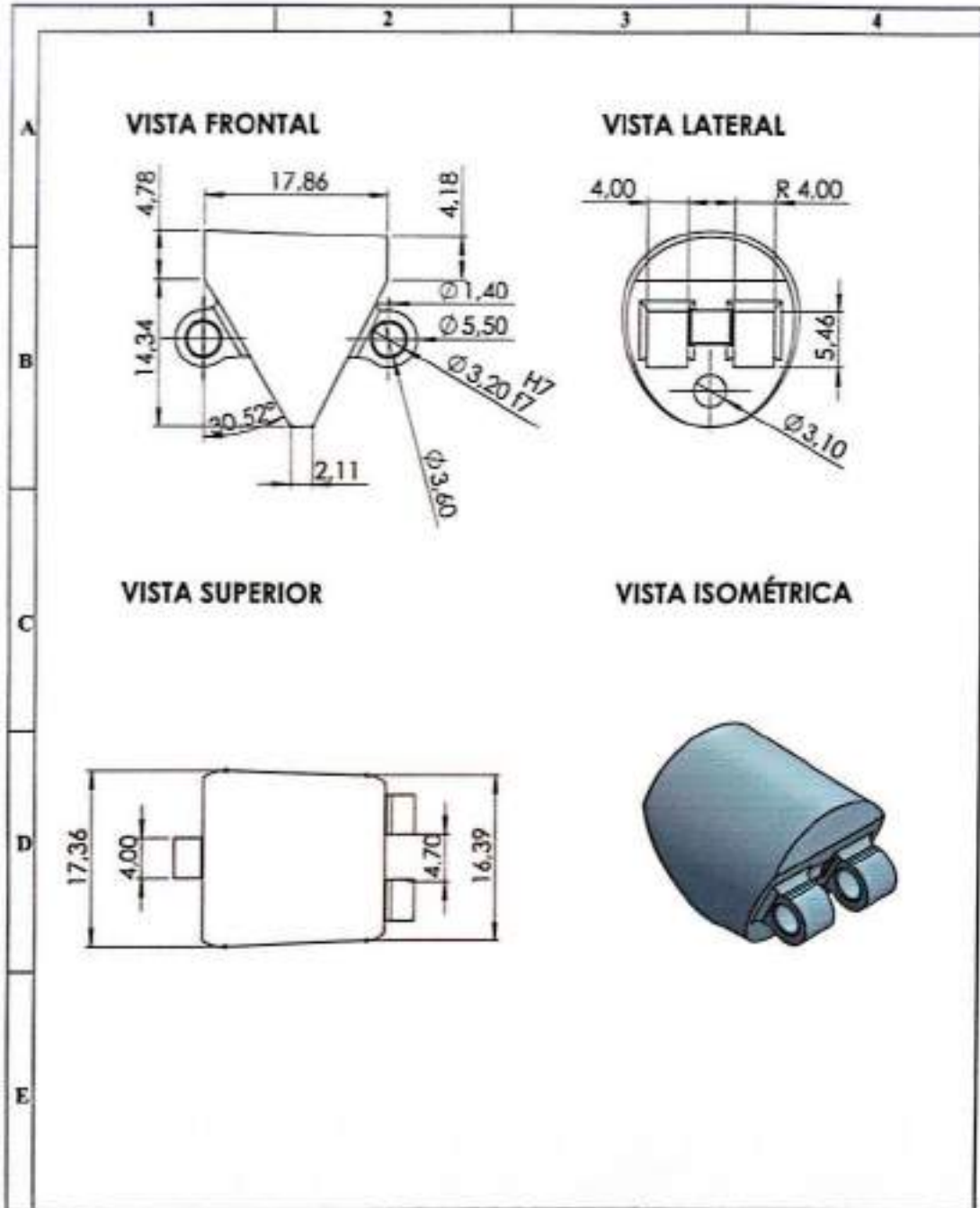




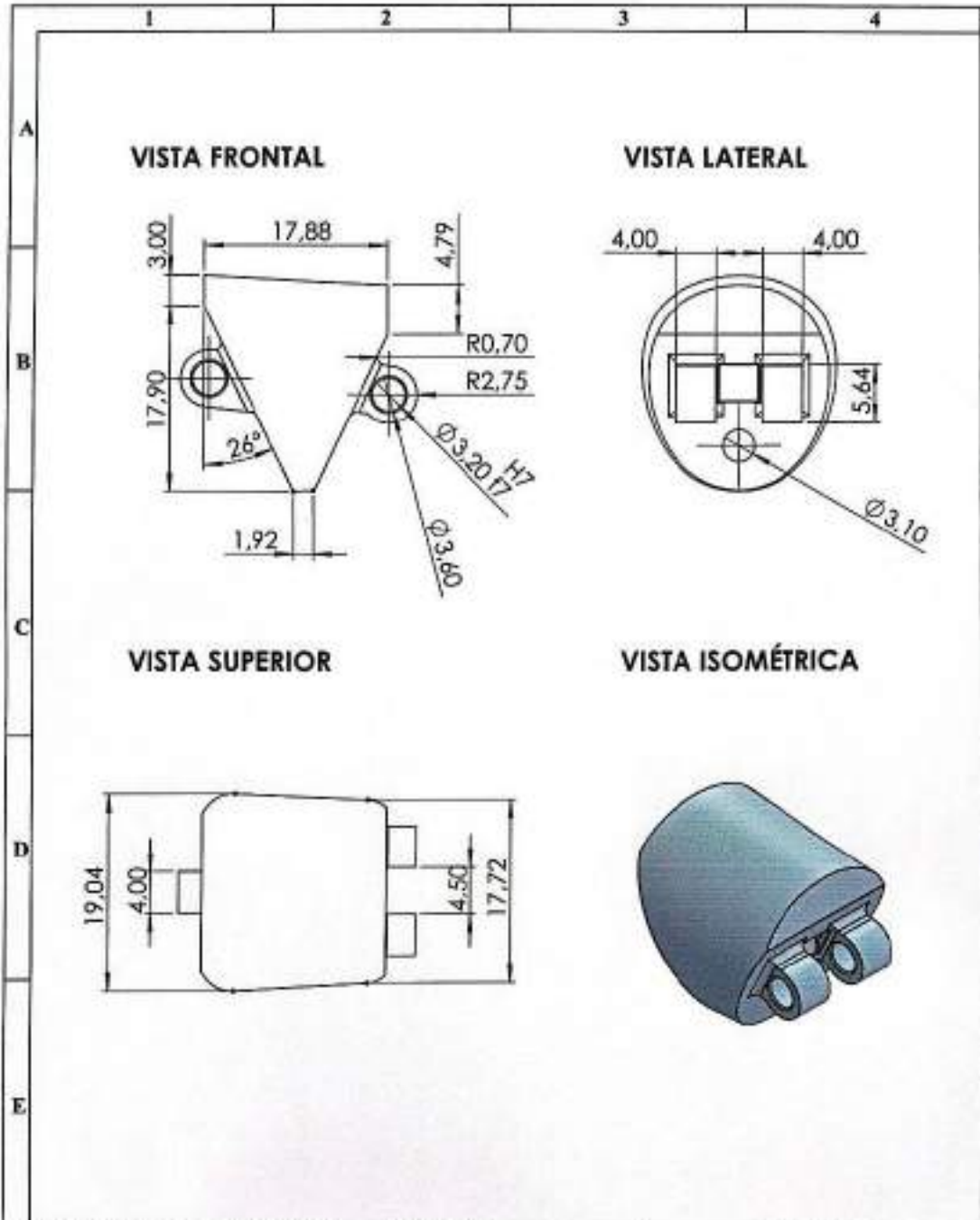
|  |  |                      |  |              |  |   |  |   |  |  |  |           |  |            |  |
|--|--|----------------------|--|--------------|--|---|--|---|--|--|--|-----------|--|------------|--|
| N°. Lámina:<br>11 de 19  |  | N°. Hojas:<br>2 de 3 |  | Sustitución: |  | Codificación:<br>FM-CBM-FIC-P-001-05-2023 |  | <b>ESPOCH</b><br><b>FACULTAD DE MECÁNICA</b><br><b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> |  |  |  |           |  |            |  |
| Email: <a href="mailto:esoch@espech.edu.ec">esoch@espech.edu.ec</a> ; <a href="mailto:denis.garcia@espech.edu.ec">denis.garcia@espech.edu.ec</a> |  |                      |  |              |  | Denominación:                             |  |   |  |  |  | Peso [Kg] |  | Tolerancia |  |
| Teléfono: 0994828550997827462  |  |                      |  |              |  | Medio del dedo anular                     |  | 0,001   |  | ±0.1 [mm]  |  | 2:1       |  |            |  |
| Datos  |  | Nombre               |  | Firma        |  | Fecha                                     |  | Materiales:   |  | ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE ARAN M & DESIGNED S. TIENE SE USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR FUNDADA POR LA LEY |  |           |  |            |  |
| Proyectó   |  | Azan Marco           |  |              |  | 2023/06/20                                |  | SEGLN DISEÑO  |  |  |  |           |  |            |  |
| Dibujó   |  | Quevedo David        |  |              |  | 2023/06/20                                |  | Nombre de archivo:  |  |  |  |           |  |            |  |
| Revisó   |  | Ing. López S.        |  |              |  | 2023/06/20                                |  | MNO_P014-18_alppt   |  |  |  |           |  |            |  |
| Aprobó   |  | Ing. López S.        |  |              |  | 2023/06/20                                |  |   |  |  |  |           |  |            |  |



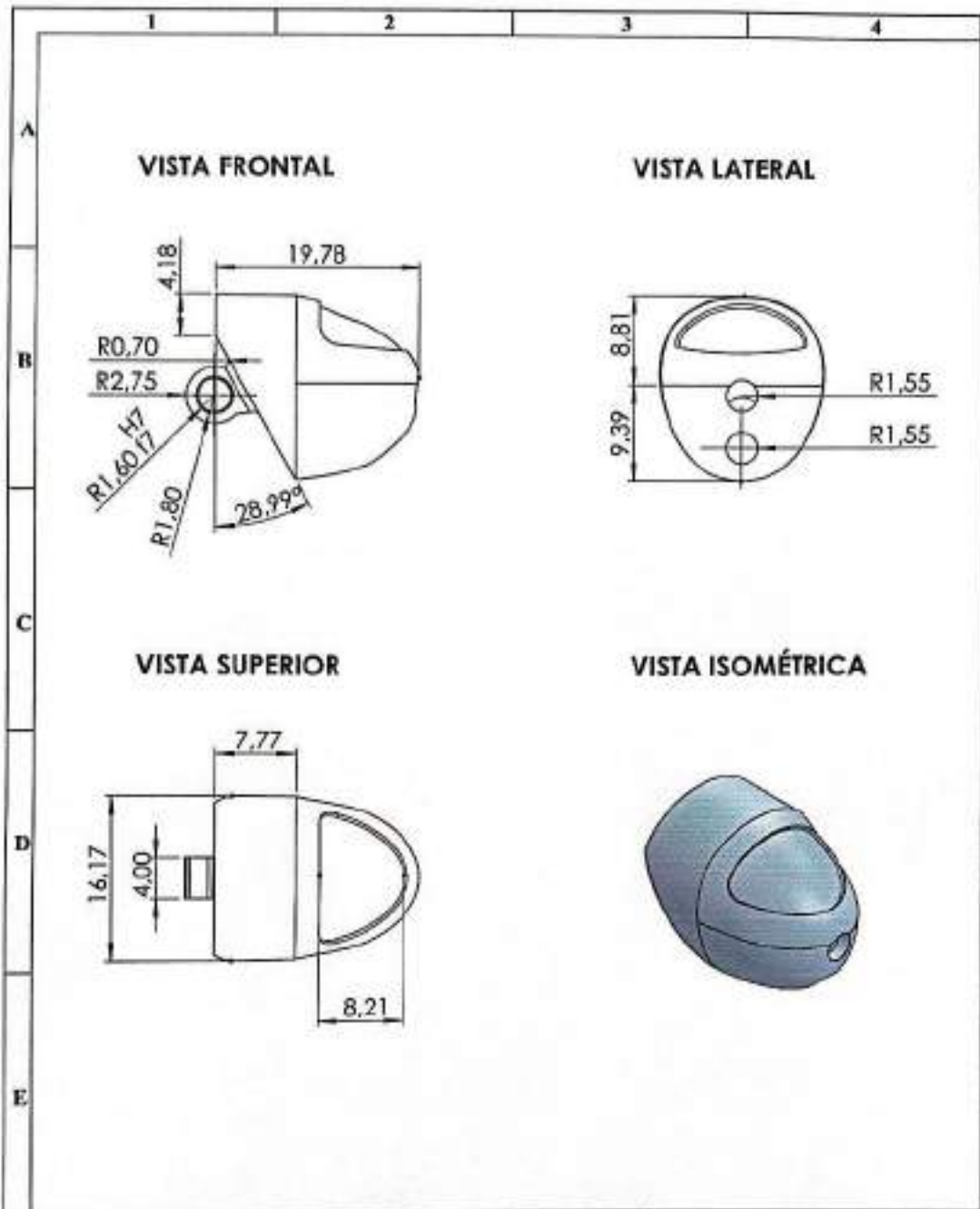
|  |                      |              |  |   |  |   |           |           |            |
|--|----------------------|--------------|--|---|--|---|-----------|-----------|------------|
| N°. Lámina:<br>12 de 19  | N°. Hojas:<br>3 de 3 | Sustitución: | Codificación:<br>FM-CIM-MC-P-001-06-2023       | <b>ESPOCH</b><br><b>FACULTAD DE MECÁNICA</b><br><b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> |  |   |           |           |            |
| Email: <a href="mailto:marco.asan@esPOCH.edu.co">marco.asan@esPOCH.edu.co</a> / <a href="mailto:david.quevedo@esPOCH.edu.co">david.quevedo@esPOCH.edu.co</a><br>Teléfono: 09941820157997827402 |                      |              | Denominación:<br><b>Distal del dedo anular</b> |   |  |   |           | Peso [Kg] | Tolerancia |
| Datos  | Nombre               | Firma        | Fecha  | Materiales:<br>SEGUN DISEÑO   |  | 1.001   | ±0.3 [mm] | 2:1       |            |
| Proyectó   | Asan Marco           |              | 2023/06/20                                     | Nombre de archivo:<br>MNO_P014-17.dwg   |  | ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD<br>INTELECTUAL EXCLUSIVA DE ASAN M.A.<br>QUEVEDO D.<br>CUAL QUIERA USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O<br>PARCIAL, NO AUTORIZADA CONSTITUYE<br>VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR<br>FUNDADA POR LA LEY |           |           |            |
| Dibujó   | Quevedo David        |              | 2023/06/20                                     |   |  |   |           |           |            |
| Revisó   | Ing. López S.        |              | 2023/06/20                                     |   |  |   |           |           |            |
| Aprobó   | Ing. López S.        |              | 2023/06/20                                     |   |  |   |           |           |            |



|  |                      |              |   |   |  |   |  |                     |
|--|----------------------|--------------|---|---|--|---|--|---------------------|
| N°. Lámina:<br>17 de 17  | N°. Hojas:<br>1 de 3 | Sustitución: | Codificación:<br>PM-CIM-PMC-P-001-06-2023         | <b>ESPOCH<br/>FACULTAD DE MECÁNICA<br/>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> |  |   |  |                     |
| Email: <a href="mailto:ases.mario@esPOCH.edu.ec">ases.mario@esPOCH.edu.ec</a> / <a href="mailto:David.Quevedo@esPOCH.edu.ec">David.Quevedo@esPOCH.edu.ec</a> |                      |              | Denominación:<br><b>Proximal del dedo meñique</b> |   |  |   |  | Peso (Kg):<br>0.001 |
| Datos  | Nombre               | Firma        | Fecha   | Materiales:<br><b>SEGUN DISEÑO</b>  |  | ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE ASAM M & QUILTER S.A. Y SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY. |  |                     |
| Proyectó   | Asan Mario           |              | 2023-06-20  |   |  |   |  |                     |
| Dibujó   | Quevedo David        |              | 2023-06-20  |   |  |   |  |                     |
| Revisó   | Ing. López S.        |              | 2023-06-20  |   |  |   |  |                     |
| Aprobó   | Ing. López S.        |              | 2023-06-20  | Nombre de archivo:<br>MNO_P013-11.López                                   |  |   |  |                     |

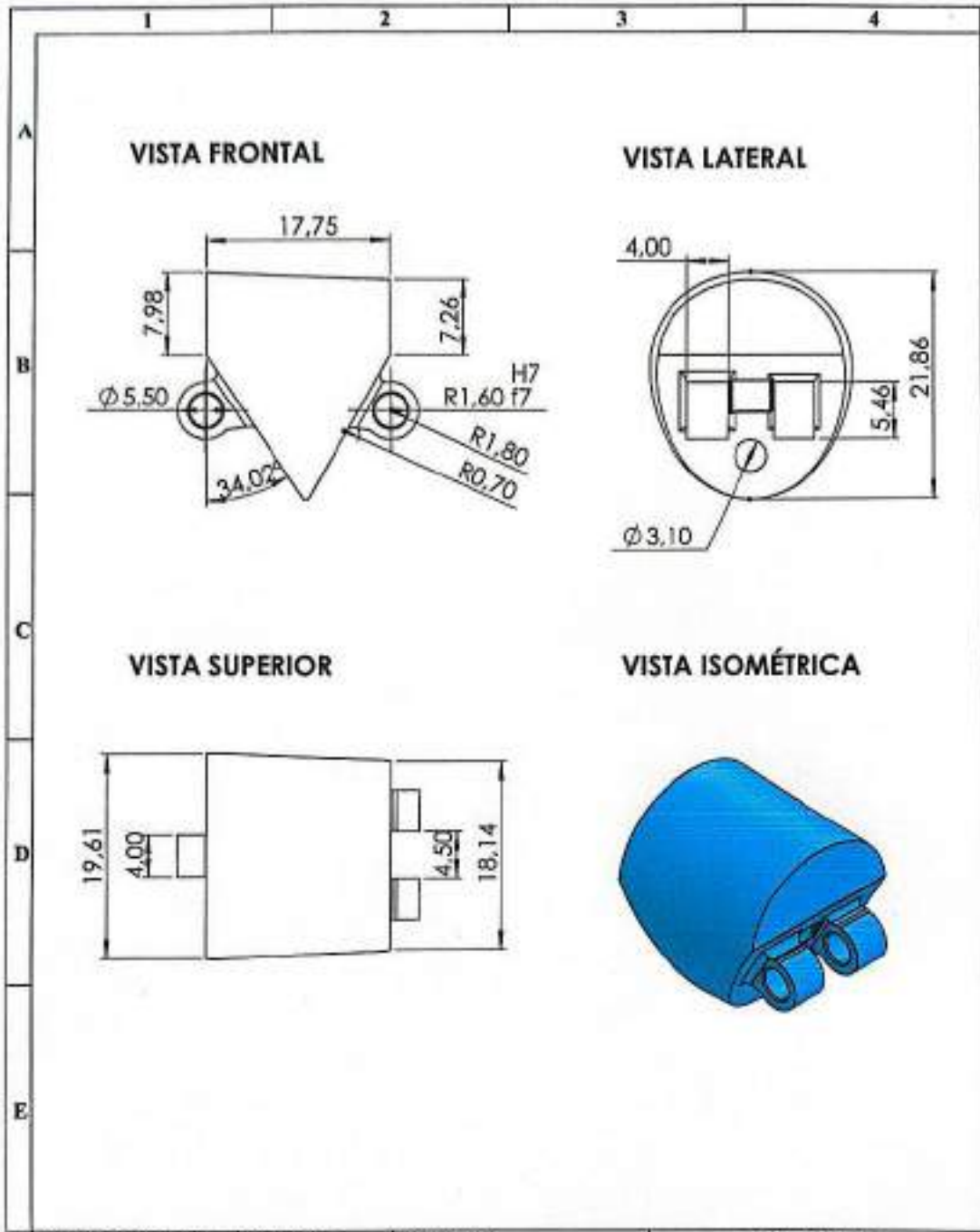


|   |  |                      |  |              |  |  |  |   |  |   |  |           |  |            |  |        |  |
|---|--|----------------------|--|--------------|--|--|--|---|--|---|--|-----------|--|------------|--|--------|--|
| N°. Lámina:<br>14 de 19                                     |  | N°. Hojas:<br>2 de 3 |  | Sustitución: |  | Codificación:<br>FM-CIM-PC-P-001-06-2023 |  | <b>ESPOCH</b><br><b>FACULTAD DE MECÁNICA</b><br><b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> |  |   |  |           |  |            |  |        |  |
| Email: marco.asan@esPOCH.edu.ec/david.garvado@esPOCH.edu.ec |  |                      |  |              |  | Denominación:                            |  |   |  |   |  | Peso [Kg] |  | Tolerancia |  | Escala |  |
| Teléfonos: 099482855097827462                               |  |                      |  |              |  | <b>Medio del dedo meñique</b>            |  | 0.001   |  | ±0.3 [mm]   |  | 2:1       |  |            |  |        |  |
| Datos   |  | Nombre               |  | Firma        |  |  |  | Fecha   |  | ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELECTUAL EXCLUSIVA DE ASAN M & QUÉVEDO D. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL, NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PREVISTA POR LA LEY |  |           |  |            |  |        |  |
| Proyectó  |  | Asan Marco           |  |              |  |  |  | 2023/05/20  |  |   |  |           |  |            |  |        |  |
| Dibujó  |  | Garvado David        |  |              |  |  |  | 2023/05/20  |  |   |  |           |  |            |  |        |  |
| Revisó  |  | Ing. López S.        |  |              |  | 2023/05/20                               |  |   |  |   |  |           |  |            |  |        |  |
| Aprobó  |  | Ing. López S.        |  |              |  | 2023/05/20                               |  | Nombre de archivo:<br>MNO_P013-15.sldprt  |  |   |  |           |  |            |  |        |  |

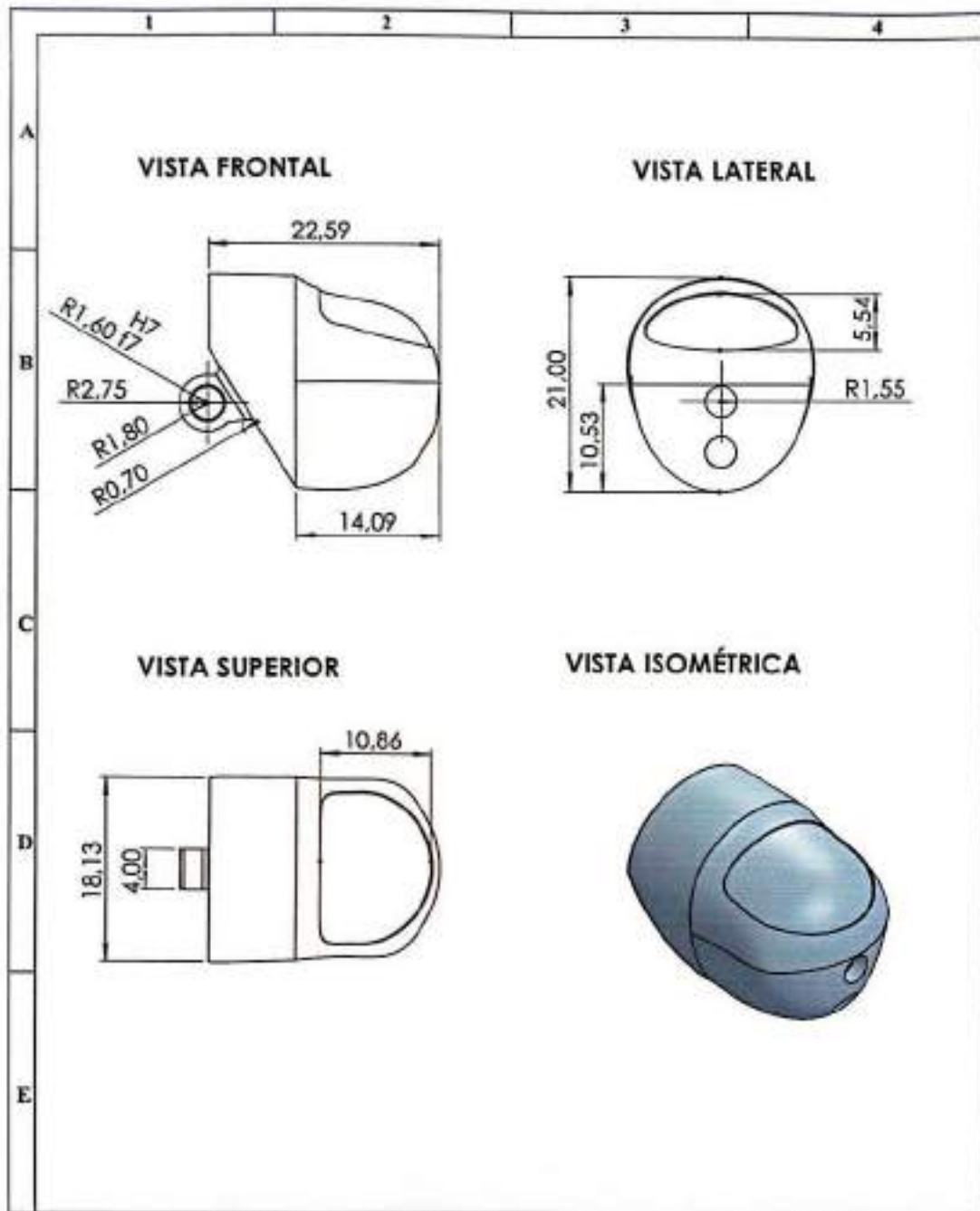


|  |  |                      |  |              |  |  |  |   |  |                    |  |   |  |            |  |
|--|--|----------------------|--|--------------|--|--|--|---|--|--------------------|--|---|--|------------|--|
| N°. Lámina:<br>15 de 19  |  | N°. Hojas:<br>1 de 1 |  | Sustitución: |  | Codificación:<br>FM-CIM-PC-P-001-06-2021 |  | <b>ESPOCH</b><br><b>FACULTAD DE MECÁNICA</b><br><b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> |  |                    |  |   |  |            |  |
| Email: <a href="mailto:masa.asan@esPOCH.edu.ec">masa.asan@esPOCH.edu.ec</a> / <a href="mailto:David.Quevedo@esPOCH.edu.ec">David.Quevedo@esPOCH.edu.ec</a> |  |                      |  |              |  | Denominación:                            |  |   |  |                    |  | Peso [Kg]   |  | Tolerancia |  |
| Teléfono: 099-982825099/827462   |  |                      |  |              |  | <b>Distal del dedo meñique</b>           |  | 0.001   |  | ±0.3 [mm]          |  | 2:1   |  |            |  |
| Diseño   |  | Nombre               |  | Firma        |  |  |  | Fecha   |  | Materiales:        |  | <small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE ASAMIN 4 QUITO D. CUAL QUIEN LO OBTIENE Y REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL, SIN AUTORIZACION CONSTITUYE VIOLACION DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PROMANADA POR LA LEY</small> |  |            |  |
| Proyectó   |  | Asan Marco           |  |              |  |  |  | 2023/06/20  |  | SIGUN DISEÑO       |  |   |  |            |  |
| Dibujó   |  | Quevedo David        |  |              |  |  |  | 2023/06/20  |  | Nombre de archivo: |  |   |  |            |  |
| Revisó   |  | Ing. López S.        |  |              |  | 2023/06/20                               |  | MNO_P013-14.dwg   |  |                    |  |   |  |            |  |
| Aprobó   |  | Ing. López S.        |  |              |  | 2023/06/20                               |  |   |  |                    |  |   |  |            |  |

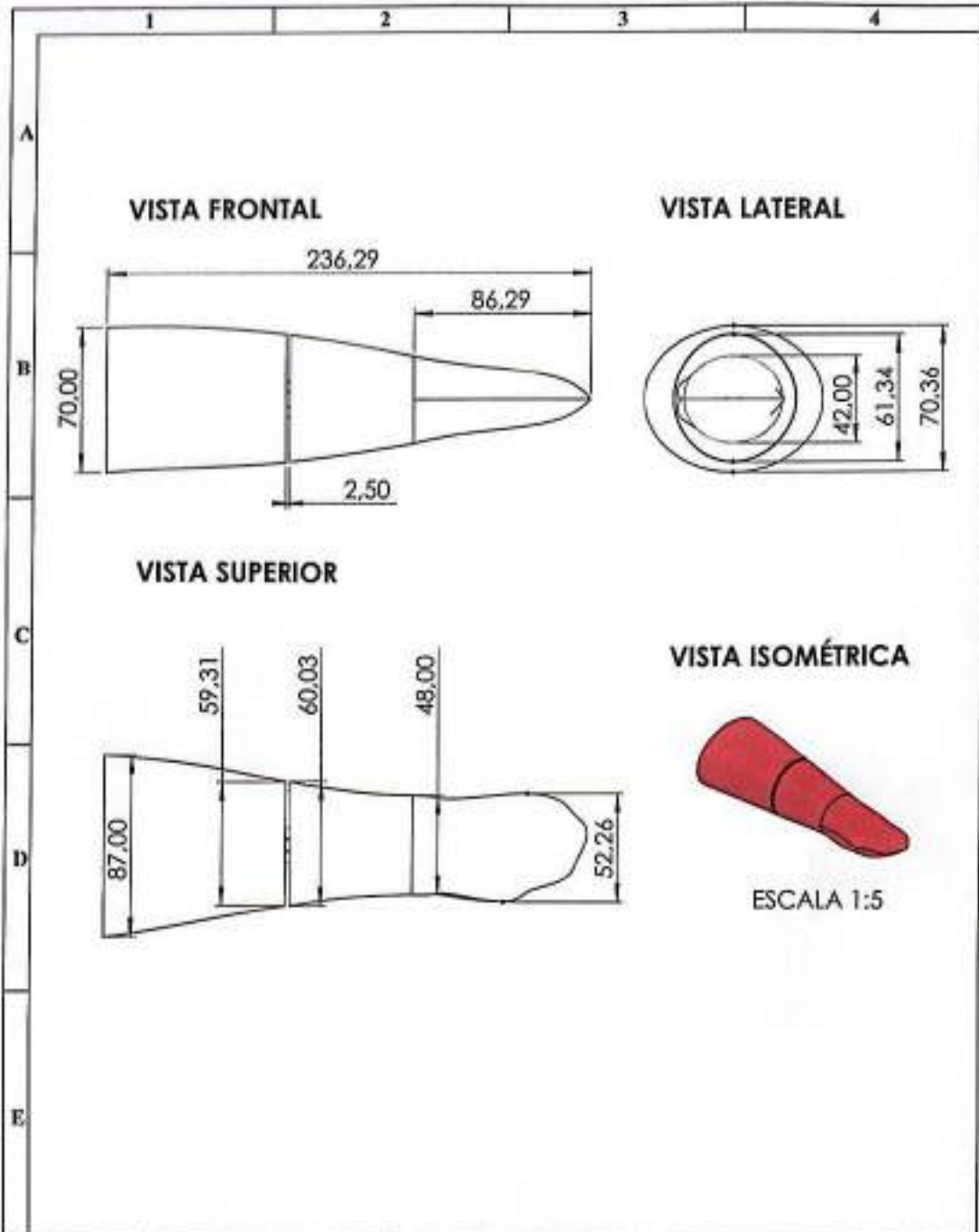




|  |               |                      |            |  |  |   |            |   |           |  |  |
|--|---------------|----------------------|------------|--|--|---|------------|---|-----------|--|--|
| N°. Lámina:<br>16 de 19  |               | N°. Hojas:<br>1 de 2 |            | Sustitución:                                     |  | Codificación:<br>FM-CIM-PIE-P-001-06-2023 |            | <b>ESPOCH</b><br><b>FACULTAD DE MECÁNICA</b><br><b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>   |           |  |  |
| Email: <a href="mailto:casas.asso@esPOCH.edu.co">casas.asso@esPOCH.edu.co</a><br>Teléfono: 099982833099/823463 |               |                      |            | Denominación:<br><b>Proximal del dedo pulgar</b> |  |   |            |   |           |  |  |
| Datos  | Nombre        | Firma                | Fecha      | Materiales:<br>SEGUN DISEÑO                      |  | Peso [Kg]                                 | Tolerancia | Escala  | Registros |  |  |
| Proyectó   | Azam Mamo     |                      | 2023/06/20 |  |  | 0.000                                     | ±0.3 [mm]  | 2:1   |           |  |  |
| Dibujó   | Quevedo David |                      | 2023/06/20 |  |  | Nombre de archivo:<br>MNO_P018-12_sláprt  |            | ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL DEL LINEA DE ASAN M. A QUAYVEDO D. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL, NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY. |           |  |  |
| Revisó   | Ing. López S. |                      | 2023/06/20 |  |  |   |            |   |           |  |  |
| Aprobó   | Ing. López S. |                      | 2023/06/20 |  |  |   |            |   |           |  |  |

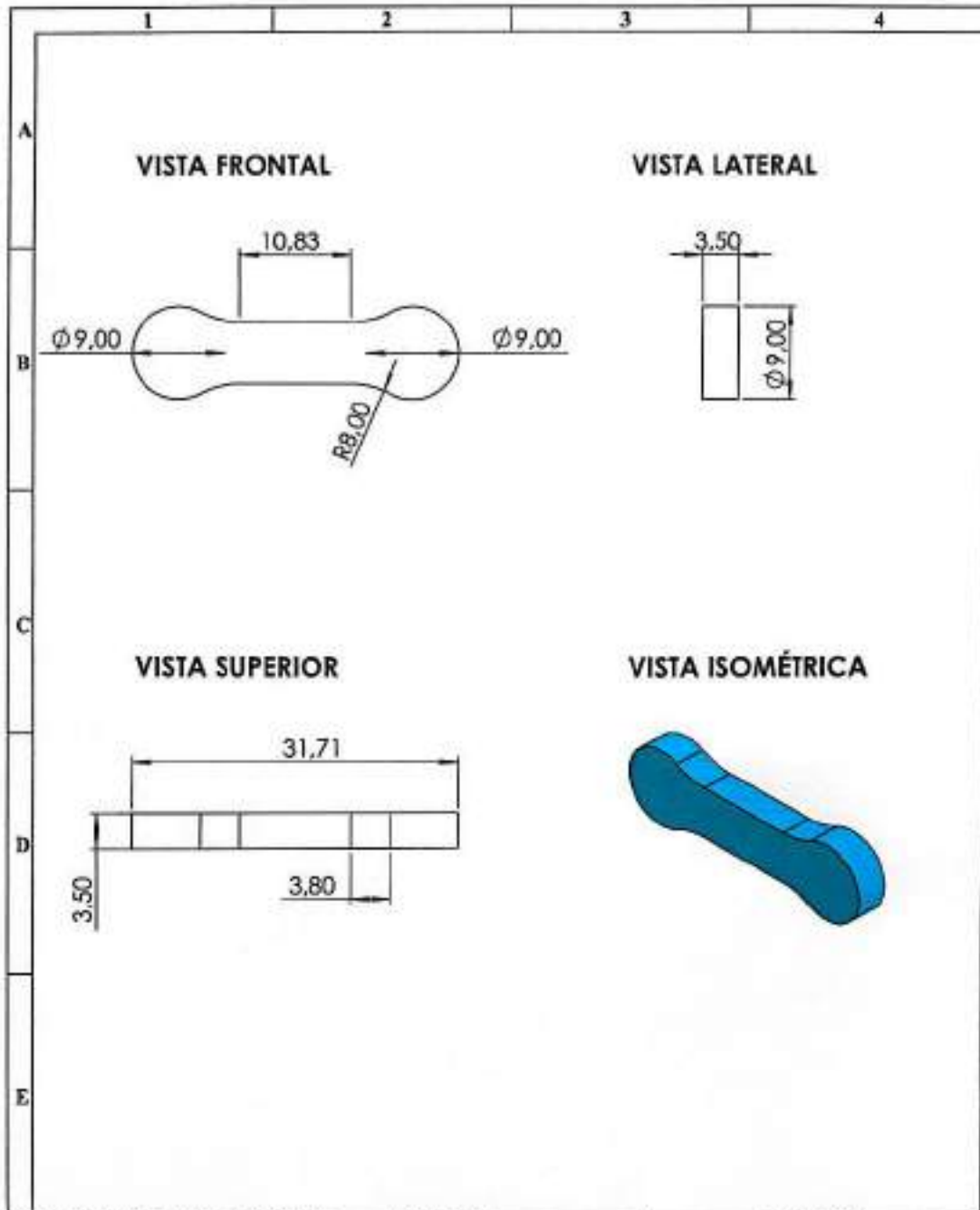


|   |                      |              |  |   |           |  |        |          |
|---|----------------------|--------------|--|---|-----------|--|--------|----------|
| N°. Lámina:<br>17 de 19   | N°. Hojas:<br>2 de 2 | Sustitución: | Codificación:<br>FM-CDM-PC-7-001-06-2023       | <b>ESPOCH</b><br><b>FACULTAD DE MECÁNICA</b><br><b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> |           |  |        |          |
| Email: <a href="mailto:maestro.mec@esPOCH.edu.ec">maestro.mec@esPOCH.edu.ec</a> / <a href="mailto:director@esPOCH.edu.ec">director@esPOCH.edu.ec</a><br>Teléfono: 0994982355-0997823462 |                      |              | Denominación:<br><b>Distal del dedo pulgar</b> |   | Peso [Kg] | Tolerancia   | Escala | Registro |
| Datos   | Nombre               | Firma        | Fecha  |   |           |  |        |          |
| Proyectó  | Azam Mario           |              | 2023/06/20                                     |   |           |  |        |          |
| Dibujó  | Quarona David        |              | 2023/06/20                                     |   |           |  |        |          |
| Revisó  | Ing. López S.        |              | 2023/06/20                                     |   |           |  |        |          |
| Aprobó  | Ing. López S.        |              | 2023/06/20                                     | Materiales:<br>SEGUN DISEÑO   |           | Este documento es propiedad intelectual exclusiva de ASAM M & QUERADA S. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR REGISTRADA POR LA LEY |        |          |
|   |                      |              |  | Nombre de archivo:<br>MNO_P011-11.dwg   |           |  |        |          |



|  |  |                     |  |              |  |   |  |   |  |  |  |             |  |   |  |        |  |          |  |
|--|--|---------------------|--|--------------|--|---|--|---|--|--|--|-------------|--|---|--|--------|--|----------|--|
| N° Lámina:<br>18 de 19   |  | N° Hojas:<br>1 de 1 |  | Sustitución: |  | Codificación:<br>FM-CDM-IPC-P-001-06-2023 |  | <b>ESPOCH</b><br><b>FACULTAD DE MECÁNICA</b><br><b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> |  |  |  |             |  |   |  |        |  |          |  |
| Email: <a href="mailto:carro.asam@esPOCH.edu.ec">carro.asam@esPOCH.edu.ec</a> / <a href="mailto:carro@esPOCH.edu.ec">carro@esPOCH.edu.ec</a><br>Teléfonos: 0994932855 / 0997021562 |  |                     |  |              |  | Denominación:                             |  |   |  |  |  | Peso [Kg]   |  | Tolerancia  |  | Escala |  | Registro |  |
| Datos  |  | Nombre              |  | Firma        |  | Fecha                                     |  | <b>Muñón flexible</b>   |  |  |  | 0.155       |  | ±0.3 [mm]   |  | 1:2.5  |  |          |  |
| Proyectó   |  | Asan Marco          |  |              |  | 2023/06/20                                |  |   |  |  |  | Materiales: |  | <small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELECTUAL EXCLUSIVA DE ASAM M &amp; QUITADO D. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE UNA ACCIÓN DE LOS DEBERES DEL AUTOR PUNADA POR LA LEY</small> |  |        |  |          |  |
| Dibujó   |  | Quevedo David       |  |              |  | 2023/06/20                                |  | SEGUN DISEÑO  |  |  |  |             |  |   |  |        |  |          |  |
| Revisó   |  | Ing. López S.       |  |              |  | 2023/06/20                                |  | Nombre de archivo:  |  |  |  |             |  |   |  |        |  |          |  |
| Aprobó   |  | Ing. López S.       |  |              |  | 2023/06/20                                |  | MNO_P019.aldprt   |  |  |  |             |  |   |  |        |  |          |  |





|  |                      |              |   |   |   |     |  |
|--|----------------------|--------------|---|---|---|-----|--|
| Nº. Lámina:<br>19 de 19  | Nº. Hojas:<br>1 de 1 | Sustitución: | Codificación:<br>FM-CDM-PIE-P-001-06-2023       | <b>ESPOCH</b><br><b>FACULTAD DE MECÁNICA</b><br><b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> |   |     |  |
| Email: <a href="mailto:marco.asas@esPOCH.edu.ec">marco.asas@esPOCH.edu.ec</a> ; <a href="mailto:quvedo@esPOCH.edu.ec">quvedo@esPOCH.edu.ec</a> |                      |              | Denominación:                                   |   |   |     |  |
| Teléfono: 0994828354947827603  |                      |              | <b>Articulación</b><br><b>mano - brazaletes</b> | 0.001   | $\pm 0.3$ [mm]  | 2:1 |  |
| Datos  | Nombre               | Firma        |   | Fecha   | <small>ESTE DOCUMENTO DE PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE ASAS M.E. QUITADO EL CALIFICACION USO Y REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACION DE LEGISLACION DEL AUTOR PENADA POR LA LEY</small> |     |  |
| Proyectó   | Asas Marco           |              |   | 2023/06/20  |   |     |  |
| Dibujó   | Quvedo David         |              | 2023/06/20                                      |   |   |     |  |
| Revisó   | Ing. López S.        |              | 2023/06/20                                      |   |   |     |  |
| Aprobó   | Ing. López S.        |              | 2023/06/20                                      | Materiales:<br>SEGUN DISEÑO   |   |     |  |
|  |                      |              |   | Nombre de archivo:<br>MNO_P024.sldprt   |   |     |  |