



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Politécnica Superior de Alcoy

Diseño de una prótesis funcional de extremidad superior desarrollado con tecnología de impresión 3D

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Productos

AUTOR/A: Zamora Cenarro, Alma

Tutor/a: Ferrándiz Bou, Santiago

Cotutor/a: Juliá Sanchis, Ernesto

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

RESUMEN Y PALABRAS CLAVE

RESUMEN

La ausencia de miembros superiores ha estado presente a lo largo de la historia, ya fuese por su carencia o por su amputación. Debido a esta imperfección, el ser humano ha desarrollado diferentes objetos para poder reemplazar este defecto.

HEXOPRINT es un nuevo dispositivo protésico funcional y estético, diseñado a partir de un patrón hexagonal que se adapta a diferentes usuarios.

El proceso de fabricación del nuevo producto, está dirigido a la impresión 3D y más concretamente a la tecnología FDM (Modelado por Deposición Fundida).

El motivo principal del diseño y desarrollo de este producto, es proporcionar la funcionalidad perdida del miembro superior.

Extremidad superior / Diseño / Funcionalidad / Impresión 3D / Prótesis

RESUM

L'absència de membres superior ha estat present al llarg de la història, ja fos per la seva manca o per la seva amputació. A causa d'aquesta imperfecció l'èsser humà ha desenvolupat diferents objectes per a poder reemplaçar aquest defecte.

HEXOPRINT és un nou dispositiu prostètic i estètic, dissenyat a partir d'un patró hexagonal que s'adapta a diferents usuaris.

El procés de fabricació del nou producte, està dirigit a la impressió 3D i més concretament a la tecnologia FDM (Modelatge per Deposició Fosa).

El motiu principal del disseny i desenvolupament d'aquest producte, es proporcionar la funcionalidad perdida del membre superior.

Membre superior / Disseny / Funcionalitat / Impressió 3D / Pròtesi

ABSTRACT

The absence of upper limbs has been present throughout history, either due to their lack or their amputation. Due to this imperfection, humans have developed different objects to replace this defect.

HEXOPRINT is a new functional and aesthetic prosthetic device designed from a hexagonal pattern that adapts to different users.

The manufacturing process of the new product aims at 3D printing, specifically FDM (Fused Deposition Modeling) technology.

The main reason for designing and developing this product is to restore the lost functionality of the upper limb.

Upper limbs / Design / Functionality / 3D Print / Prosthesis

**DISEÑO DE UNA
PRÓTESIS FUNCIONAL
DE EXTREMIDAD
SUPERIOR
DESARROLLADA CON
TECNOLOGÍA DE
IMPRESIÓN 3D.**



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

**GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO
INDUSTRIAL Y DESARROLLO DEL
PRODUCTO**

Junio 2023

ZAMORA CENARRO, Alma

ANEXO 3

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD DEL TRABAJO FIN DE GRADO

D/Dña...Alma Zamora Cenarro.....

con DNI.45185479-R y estudiante del Grado de Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Productos en la Escuela Politécnica Superior de Alcoy de la Universidad Politécnica de Valencia, en relación con el Trabajo Final de Grado que presento para su exposición y defensa titulado

.....
Diseño de una prótesis funcional de extremidad superior desarrollada con tecnología de impresión 3D.
.....

Declaro que asumo la originalidad de dicho trabajo y que todas las fuentes utilizadas para su realización han sido citadas debidamente.

Alcoy a 8 de Junio de 2023

Fdo.:



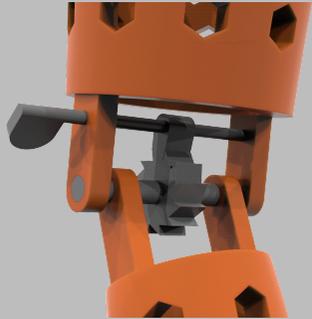
DISEÑO DE UNA PRÓTESIS FUNCIONAL DE EXTREMIDAD SUPERIOR DESARROLLADA CON TECNOLOGÍA DE IMPRESIÓN 3D.

La ausencia de miembros superiores ha estado presente a lo largo de la historia, ya fuese por su carencia o por su amputación. Debido a esta imperfección, el ser humano ha desarrollado diferentes objetos para poder reemplazar este defecto.

HEXOPRINT es un nuevo dispositivo protésico funcional y estético, diseñado a partir de un patrón hexagonal que se adapta a diferentes usuarios.

El proceso de fabricación del nuevo producto, está dirigido a la impresión 3D y más concretamente a la tecnología FDM (Modelado por Deposición Fundida).

El motivo principal del diseño y desarrollo de este producto, es proporcionar la funcionalidad perdida del miembro superior.



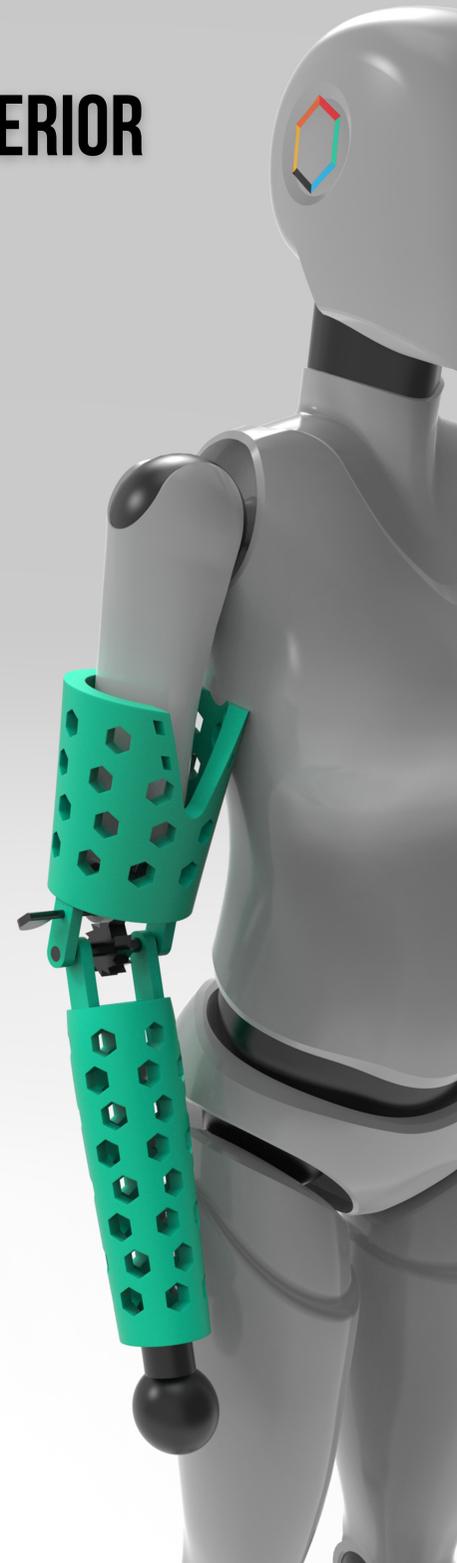
UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO INDUSTRIAL Y DESARROLLO DEL PRODUCTO

Junio 2023

ZAMORA CENARRO, Alma

HEXOPRINT
MASTER EVERY MOVEMENT



Índice

1. MEMORIA	13
1.1. OBJETO Y JUSTIFICACIÓN	13
1.1.1. Objeto	13
1.1.2. Justificación	13
1.2. ANTECEDENTES	14
1.2.1. Historia protésica	14
1.2.2. Historia de la impresión 3D	16
1.2.3. Materiales protésicos	17
1.2.4. Materiales de impresión 3D	21
1.3. NORMAS Y REFERENCIAS	24
1.4. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS	25
1.5. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO	27
1.5.1. Tipos de prótesis	27
1.5.2. Tipos de prótesis de extremidad superior	31
1.5.3. Partes de una prótesis de extremidad superior	34
1.5.4. Tipos de impresión 3D	35
1.5.5. Público objetivo	39
1.6. ESTUDIO ERGONÓMICO Y ANTROPOMÉTRICO	40
1.6.1. Extremidad superior	40
1.6.2. Medidas antropométricas de la extremidad superior	49
1.6.3. Tipos de amputación del miembro superior.	50
1.6.4. Morfología del muñón	52
1.6.4.1. Medidas antropométricas del muñón	53
1.7. REQUISITOS DE DISEÑO	54
1.7.1. Descripciones de las necesidades / p.c.i.	54
1.7.2. Funciones del producto / Pliego de condiciones funcional	55
1.7.3. Valoración de las funciones, valoración entre las funciones y tablas de valoración de funciones	61
1.8. PROCESO DE FABRICACIÓN	64
1.9. PLANTEAMIENTO DE LAS SOLUCIONES ALTERNATIVAS	66
1.9.1. Bocetos de las soluciones alternativas	66
1.9.1.1. Diseño de la prótesis	66
1.9.1.2. Diseño del tipo de unión (Codo)	70
1.9.1.3. Diseño de ajuste	73
1.9.1.4. Diseño de unión (articulación de muñeca)	75
1.9.2. VTP (Valoración técnica ponderada)	77
1.9.2.1. VTP diseño de la prótesis	77
1.9.2.2. VTP del tipo de unión (Codo)	78
1.9.2.3. VTP de ajuste	79
1.9.2.4. VTP de unión (muñeca)	80
1.9.3. Análisis de las soluciones	81
1.10. RESULTADOS FINALES	82

1.10.1. Descripción y justificación del diseño adoptado	82
1.10.2. Viabilidad	83
1.10.2.1. Viabilidad técnica y física	83
1.10.2.1.1. Dimensionado previo	83
1.10.2.1.2. Materiales	84
1.10.2.1.3. Procesos de fabricación	87
1.10.2.2. Viabilidad económica	99
1.10.3. Análisis estructural	100
1.11. PRODUCTO FINAL	107
1.11.1. Objetivos de Desarrollo Sostenible	109
1.12. CONCLUSIONES	111
2. ANEXOS	112
2.1. PLIEGO DE CONDICIONES INICIALES	112
2.2. MOODBOARD	114
2.3. ESQUEMA DE DESMONTAJE	115
2.4. DIAGRAMA SISTÉMICO	115
2.5. INSTRUCCIONES DE USO	116
2.6. FICHAS TÉCNICAS DE LOS MATERIALES	118
2.8. ENVASE DEL PRODUCTO	127
2.9. ELEMENTOS COMERCIALES	133
2.10. MÁQUINAS, HERRAMIENTAS Y ÚTILES DE FABRICACIÓN	134
2.11. DISEÑO GRÁFICO DEL PRODUCTO	136
2.12. DIAGRAMA DE PERT Y GANTT	145
3. PLANOS	149
3.1. PLANOS DE CONJUNTO	149
3.2. PLANOS DE SUBCONJUNTO	151
3.3. PLANOS DE DESPIECE	154
4. PROTOTIPOS, MAQUETAS Y/O MODELOS	158
4.1. PRESENTACIÓN DEL PRODUCTO	158
4.2. MAQUETA	161
4.3. PROTOTIPO	166
5. PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS	181
6. ESTADO DE MEDICIONES / PRESUPUESTO	187
7. BIBLIOGRAFÍA	188

Índice de tablas

1. Tabla 1: Normativa.
2. Tabla 2: Definiciones.
3. Tabla 3: Abreviaturas
4. Tabla 4: Medidas antropométricas correspondientes a la población española laboral, de la table de Margarita Vergara y María Jesús Agost.
5. Tabla 5: Clasificación anatómica de amputaciones de Oxford.
6. Tabla 6: Pliego de condiciones iniciales.
7. Tabla 7: Matriz Dominación de las funciones descritas.
8. Tabla 8: Valoración de las funciones de la prótesis.
9. Tabla 9: VTP del diseño de la prótesis.
10. Tabla 10: VTP del tipo de unión de codo.
11. Tabla 11: VTP del ajuste de la prótesis.
12. Tabla 12: VTP de la unión perteneciente a la muñeca.
13. Tabla 13: Materiales de la prótesis.
14. Tabla 14: Rango de temperatura de los materiales.
15. Tabla 15: Presupuesto del coste de la prótesis.
16. Tabla 16: Propiedades de los materiales a insertar en ANSYS.
17. Tabla 17: Dimensiones del envase del producto.
18. Tabla 18: Características técnicas de la impresora.
19. Tabla 19: PERT
20. Tabla 20: GANTT
21. Tabla 21: Presupuesto total de la prótesis.

índice de figuras

1. Figura 1: Prótesis de madera y hierro.
2. Figura 2: Ambroise Paré y sus diseños protésicos.
3. Figura 3: Proceso de estereolitografía.
4. Figura 4: Exoesqueleto en impresión 3D.
5. Figura 5: Cuero.
6. Figura 6: Madera.
7. Figura 7: Telas.
8. Figura 8: Metales.
9. Figura 9: Polímeros.
10. Figura 10. Impresión de plástico.
11. Figura 11: Impresión de metales.
12. Figura 12: Impresión de cerámica.
13. Figura 13: Impresión de materiales orgánicos.
14. Figura 14: Prótesis ortopédicas.
15. Figura 15: Prótesis mecánicas
16. Figura 16: Prótesis mioeléctricas.
17. Figura 17: Prótesis estética.
18. Figura 18: Prótesis auditivas.
19. Figura 19: Prótesis cardíacas.
20. Figura 20: Prótesis faciales.
21. Figura 21: Prótesis dentales.
22. Figura 22: Prótesis pasivas.
23. Figura 23: Prótesis accionadas por el cuerpo.
24. Figura 24: Prótesis mioeléctrica accionada externamente.
25. Figura 25: Prótesis híbridas.
26. Figura 26: Prótesis específicas para cada actividad.
27. Figura 27: Encaje de la prótesis.
28. Figura 28: Sistema de control de la prótesis.
29. Figura 29: Proceso de fotopolimerización.
30. Figura 30. Proceso de extrusión de materiales.
31. Figura 31: Proceso de inyección de material.
32. Figura 32: Proceso de inyección de aglutinante.
33. Figura 33: Proceso de fusión por lecho de polvo.
34. Figura 34: Proceso de deposición de energía dirigida.
35. Figura 35: Proceso de laminado de láminas.

36. Figura 36: Estructura ósea de la extremidad superior.
37. Figura 37: Estructura articular y ósea del hombro.
38. Figura 38: Movimientos pertenecientes a la articulación del hombro.
39. Figura 39: Articulaciones del codo.
40. Figura 40: Movimientos del codo.
41. Figura 41: Estructura ósea de la muñeca.
42. Figura 42: Estructura articular de la muñeca.
43. Figura 43: Movimientos de la muñeca.
44. Figura 44: Estructura ósea de las falanges.
45. Figura 45: Estructura articular de las falanges.
46. Figura 46: Movimientos de las falanges.
47. Figura 47: Morfología del muñón de extremidad superior.
48. Figura 48: Máquina de impresión 3D.
49. Figura 49: Boceto cuadrangular.
50. Figura 50: Boceto hexagonal.
51. Figura 51: Boceto lineal.
52. Figura 52: Boceto triangular.
53. Figura 53: Unión de Coonrad-Morrey rediseñada.
54. Figura 54: Unión de Coonrad-Morrey radiografía.
55. Figura 55: Codo rotacional.
56. Figura 56: Ortesis de codo.
57. Figura 57: Boceto de unión velcro.
58. Figura 58: Boceto de unión hebillas.
59. Figura 59: Boceto de unión cilíndrica muñeca.
60. Figura 60: Boceto de unión esférica muñeca.
61. Figura 61: Boceto definitivo del producto.
62. Figura 62: Boceto previo de las dimensiones del producto.
63. Figura 63: Estructura de la impresora 3D.
64. Figura 64: Fusor y extrusor de la impresora 3D.
65. Figura 65: Ejes de la impresora 3D.
66. Figura 66; Varillas y rodamientos de la impresora 3D.
67. Figura 67: Correas de una impresora 3D.
68. Figura 68: Husillo de una impresora 3D.
69. Figura 69: Fuente de alimentación de una impresora 3D.
70. Figura 70: Placa base de la impresora 3D.
71. Figura 71: Cama caliente de una impresora 3D.
72. Figura 72: Panel de control de una impresora 3D.

73. Figura 73: Sensor inductivo de una impresora 3D.
74. Figura 74: Captura de pantalla de SolidWorks modelos 3D.
75. Figura 75: Captura de pantalla archivos STL.
76. Figura 76: Captura de pantalla del programa Cura Slicer.
77. Figura 77: Captura de pantalla, inserción del modelo en Cura Slicer.
78. Figura 78: Captura de pantalla, colocación correcta del modelo en Cura Slicer.
79. Figura 79: Captura de pantalla, parámetros de impresión.
80. Figura 80: Captura de pantalla, relleno de la pieza.
81. Figura 81: Captura de pantalla para observar el valor de la altura de capa.
82. Figura 82: Captura de pantalla, observar la velocidad de impresión.
83. Figura 83: Captura de pantalla para ver el tiempo de impresión.
84. Figura 84: Fuente de alimentación de la impresora.
85. Figura 85: Colocación del USB.
86. Figura 86: Colocación del material adecuadamente.
87. Figura 87: Imágenes correspondientes a la calibración de la cama caliente.
88. Figura 88: Autocalibración de la impresora.
89. Figura 89: Imágenes de controles de temperatura del extrusor y de la cama caliente.
90. Figura 90: Imágenes para seleccionar la pieza a imprimir.
91. Figura 91: Pieza final impresa.
92. Figura 92: Inserción de las propiedades del FilaFlex.
93. Figura 93: Inserción de las propiedades del PLA.
94. Figura 94: Captura de pantalla del programa ANSYS. Panel principal.
95. Figura 95: Imágenes correspondientes a la inserción de los materiales en cada pieza.
96. Figura 96: Captura de pantalla de ANSYS, con la aplicación de la malla de 10 mm.
97. Figura 97: Captura de pantalla de ANSYS, con la aplicación de la malla de 20 mm.
98. Figura 98: Captura de pantalla de ANSYS, para observar el soporte fijo del producto.
99. Figura 99: Captura del programa ANSYS, para observar la fuerza de aplicación 1.
100. Figura 100: Captura del programa de ANSYS, para observar la fuerza de aplicación 2.
101. Figura 101: Captura del programa de ANSYS, para observar la deformación de la fuerza 1.
102. Figura 102: Captura de pantalla de ANSYS, para amplificar el resultado de la deformación de la fuerza 1.
103. Figura 103: Captura del programa de ANSYS, para observar la tensión de la fuerza 1.

104. Figura 104: Captura de pantalla de ANSYS, para amplificar el resultado de la tensión de la fuerza 1.
105. Figura 105: Captura del programa de ANSYS, para observar la deformación de la fuerza 2.
106. Figura 106: Captura de pantalla de ANSYS, para amplificar el resultado de la deformación de la fuerza 2.
107. Figura 107: Captura del programa de ANSYS, para observar la tensión de la fuerza 2.
108. Figura 108: Captura de pantalla de ANSYS, para amplificar el resultado de la tensión de la fuerza 2.
109. Figura 109: Render del producto final.
110. Figura 110: Detalle de los elementos que proporcionan la funcionalidad.
111. Figura 111: Render de la prótesis perspectiva..
112. Figura 112: Objetivos de Desarrollo Sostenible.
113. Figura 113: Objetivo 3 de los ODS.
114. Figura 114: Objetivo 10 de los ODS.
115. Figura 115: Objetivos 9 y 12 de los ODS.
116. Figura 116: MoodBoard.
117. Figura 117: Esquema de desmontaje.
118. Figura 118: Diagramas sistémicos del producto.
119. Figura 119: Cara delantera de las instrucciones de uso.
120. Figura 120: Cara trasera de instrucciones de uso.
121. Figura 121: Ficha técnica del material Filaflex de la empresa Recreus.
122. Figura 122: Ficha técnica del material PLA de la empresa Recreus.
123. Figura 123: Ficha técnica del material PE.
124. Figura 124: Medida longitud hombro-codo.
125. Figura 125: Medida longitud codo-muñeca.
126. Figura 126: Anchura de codo.
127. Figura 127: Longitud de la mano.
128. Figura 128: Longitud perpendicular de la mano.
129. Figura 129: Anchura de la mano en los metacarpianos.
130. Figura 130: Longitud del dedo índice.
131. Figura 131: Anchura proximal del dedo índice.
132. Figura 132: Anchura distal del dedo índice.
133. Figura 133: Longitud hombro-agarre.
134. Figura 134: Longitud codo-agarre.
135. Figura 135: Longitud codo-punta de los dedos.

136. Figura 136: Perímetro de la muñeca.
137. Figura 137: Datos iniciales del envase de plástico.
138. Figura 138: Imágenes de los resultados del envase de plástico.
139. Figura 139: Datos iniciales del envase de cartón.
140. Figura 140: Gráfica de los resultados pertenecientes a la energía el color naranja y de color lila la huella de carbono.
141. Figura 141: Comparación gráfica de la huella de carbono de los dos envases.
142. Figura 142: Boceto del envase final del producto.
143. Figura 143: Cintas de velcro comerciales.
144. Figura 144: Pegamento
145. Figura 145: Imágenes de la máquina de impresión 3D.
146. Figura 146: Tipografías para el logotipo.
147. Figura 147: Tipografía Audiowide.
148. Figura 148: Tipografías del slogan.
149. Figura 149: Tipografías del slogan con línea.
150. Figura 150: Tipografía del slogan.
151. Figura 151: Logotipo del producto.
152. Figura 152: Paleta de colores 1.
153. Figura 153: Paleta de colores 2.
154. Figura 154: Paleta de colores 3.
155. Figura 155: Paleta de colores 4.
156. Figura 156: Prueba de colores con el logotipo.
157. Figura 157: Prueba de color con el logotipo 2.
158. Figura 158: Degradado de la paleta de colores seleccionada para el logotipo.
159. Figura 159: Logotipo del producto.
160. Figura 160: Isotipo del producto.
161. Figura 161: Esquema del PERT.
162. Figura 162: Diagrama de PERT.
163. Figura 163: Diagrama de GANTT.
164. Figura 164: Cartel publicitario 1.
165. Figura 165: Cartel publicitario 1, Mock Up 1.
166. Figura 166: Cartel publicitario 1, Mock Up 2.
167. Figura 167: Cartel publicitario 2.
168. Figura 168: Cartel publicitario 2, Mock Up 1.
169. Figura 169: Materiales de la maqueta.
170. Figura 170: Dimensiones de la pieza 1.1.
171. Figura 171: Corte del chorro acuático.

172. Figura 172: Proposición del alzado en el churro.
173. Figura 173: Corte de la pieza.
174. Figura 174: Perfil de corte en V.
175. Figura 175: Posición de la pieza 2.1.
176. Figura 176: Corte de la pieza 2.1.
177. Figura 177: Pieza 4 sobre papel.
178. Figura 178: Perfil dibujado sobre el churro.
179. Figura 179: Perfil de las pestañas.
180. Figura 180: Las cuatro pestañas cortadas.
181. Figura 181: Las cuatro pestañas con agujeros.
182. Figura 182: Medición de la varilla eje principal.
183. Figura 183: Medición de varilla eje manivela.
184. Figura 184. Patrón hexagonal en la maqueta.
185. Figura 185: Subconjunto 1
186. Figura 186: Ensamblaje de maqueta subconjunto 1.
187. Figura 187: Subconjunto 2.
188. Figura 188: Piezas del conjunto.
189. Figura 189: Conjunto ensamblado.
190. Figura 190: Imágenes de la impresión cilíndrica con un 20% de relleno.
191. Figura 191: Imágenes de la impresión cilíndrica con un 40% de relleno.
192. Figura 192: Captura de pantalla SolidWorks.
193. Figura 193: Captura de pantalla, herramienta vaciado SolidWorks.
194. Figura 194: Captura de pantalla extrusiones pieza 1.1.
195. Figura 195: Captura de pantalla SolidWorks, redondeos pieza 1.1.
196. Figura 196: Captura de pantalla SolidWorks, herramienta cortar 1.1.
197. Figura 197: Captura de pantalla SolidWorks, agujeros pieza 1.1.
198. Figura 198: Captura de pantalla SolidWorks, patrón pieza 1.1.
199. Figura 199: Captura de pantalla SolidWorks, herramienta matriz pieza 1.1.
200. Figura 200: Captura de pantalla SolidWorks, ranuras pieza 1.1.
201. Figura 201: Captura de pantalla SolidWorks, herramienta extrusión pieza 1.2.
202. Figura 202: Captura de pantalla SolidWorks, herramienta extrusión rectángulo pieza 1.2.
203. Figura 203: Captura de pantalla SolidWorks, redondeo pieza 1.2.
204. Figura 204: Captura de pantalla SolidWorks, croquis pieza 1.3.
205. Figura 205: Captura de pantalla SolidWorks, herramienta extrusión pieza 1.3.
206. Figura 206: Captura de pantalla SolidWorks, recubrir y vaciado pieza 2.1.
207. Figura 207: Captura de pantalla SolidWorks, extrusión y redondeo pieza 2.1.

208. Figura 208: Captura de pantalla SolidWorks, matriz pieza 2.1.
209. Figura 209: Captura de pantalla SolidWorks, extrusión pieza 2.2.
210. Figura 210: Captura de pantalla SolidWorks, herramienta revolución pieza 2.2.
211. Figura 211: Captura de pantalla SolidWorks, extrusión pieza 3.
212. Figura 212: Captura de pantalla SolidWorks, extrusión pieza 4.
213. Figura 213: Imágenes del proceso de impresión de la pieza 1.1 a escala 1:2.
214. Figura 214: Imágenes del proceso de impresión de la pieza 2.1 a escala 1:2.
215. Figura 215: Imágenes de impresión de la pieza 1.1 a escala 1:1.
216. Figura 216: Imágenes de la impresión errónea de la pieza 1.1 a escala 1:1.
217. Figura 217: Imágenes de las piezas impresas.
218. Figura 218: Imágenes de los ensamblajes de los subconjuntos.
219. Figura 219: Prototipo de la prótesis a escala 1:2.
220. Figura. 220: Maqueta y prototipo del producto a escala 1:2.
221. Figura 221: Pieza 2.1.
222. Figura 222: Pieza 1.1.
223. Figura 223: Todas las piezas pertenecientes al material PLA.
224. Figura 224: Subconjunto 1.
225. Figura 225: Subconjunto 2.
226. Figura 226: Conjunto prótesis.

1. MEMORIA

1.1. OBJETO Y JUSTIFICACIÓN

1.1.1. Objeto

El presente proyecto está enfocado en la unión de dos sectores diferenciados como son la sanidad y la tecnología. Por ello, bajo el concepto del diseño se pretende unir estos dos mundos, proporcionando una solución a un problema sanitario a partir de unas necesidades y especificaciones.

El objetivo de este trabajo consiste en diseñar y desarrollar un dispositivo protésico de extremidad superior para todas aquellas personas que sienten la falta de uno de sus miembros superiores. Para ello, se diseñará un producto que cumpla con las necesidades requeridas por el usuario, con la compatibilidad de usar un proceso de fabricación sencillo como es la impresión 3D. Además, se pretende utilizar materiales reciclables, funcionales y que sean estéticamente adecuados.

Todo el proceso del trabajo se realizará bajo la normativa vigente de la parte sanitaria y la parte tecnológica, en conjunto con las medidas antropométricas de la población laboral española.

Como resultado final se pretende conseguir un producto funcional, estético y económico, que pueda mejorar la vida cotidiana de las personas que tienen una deformación congénita del miembro superior o han sufrido una amputación.

1.1.2. Justificación

Hoy en día más del 0,5% de la población mundial vive con la pérdida de una extremidad, ya sea superior o inferior. Y está previsto que este porcentaje aumente de forma considerada a causa de enfermedades cardiovasculares o la diabetes.

El avance de la tecnología ha proporcionado que el uso de las prótesis cada vez sea más común dentro de esta sociedad, ya que el crecimiento del campo de la protésica no deja de evolucionar.

Este proyecto surge de la necesidad por generar un cambio en aquellas personas más desfavorables, en este caso, las personas sin una extremidad superior. Sin embargo, para que estos individuos puedan realizar tareas del día a día de la manera más sencilla posible, necesitan ayudarse de un dispositivo protésico. Pero, estos elementos de ayuda por lo general son caros y pesados, y no todos pueden permitírselo. Por tanto, a través del progreso de este trabajo, se obtendrá un nuevo dispositivo que satisfaga las características dictadas por esta sociedad.

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1. Historia protésica

El desarrollo de la protésica ha sido un proceso largo y lleno de acontecimientos a destacar, donde algunas de estas nuevas invenciones fueron revolucionarias en sus tiempos como es el ejemplo del pie de posición fija, mientras que otras invenciones fueron descartándose al paso del tiempo.

Fue en el año 1500 a.C. cuando surgieron los primeros miembros protésicos, conocidos como las patas de palo o ganchos de mano, que han ido sufriendo cambios a lo largo del tiempo, hasta llegar a la actualidad donde se pueden encontrar dispositivos personalizables.

La primera civilización de la que se tiene constancia sobre los elementos prótesis y que por tanto fueron los pioneros, son los egipcios. Estos elaboraban miembros artificiales con fibras pero sin ningún aspecto funcional, solamente por el simple hecho de sentir la sensación de suplementar el miembro faltante.

La siguiente etapa data desde el 424 a.C. al 1 a.C en Italia, cuando en 1858 se descubrió una pierna artificial que se estimó que pertenecía a 300 a.C. Los materiales que componían este elemento eran hierro, bronce y madera, que pertenecían a una amputación por debajo de la rodilla. De esta misma etapa también se encuentran distintos escritos en los que se habla de reemplazos de extremidades tanto inferiores como superiores.



Figura 1: Prótesis de madera y hierro [52]

A continuación se salta a la alta edad media, concretamente entre los años 476 a 1000, donde no se aprecian grandes logros dentro del campo de la protésica. Se entiende que en esa época se utilizaban las prótesis para ocultar deformaciones o heridas producidas en las guerras. Y en el caso de que una persona llevará un elemento artificial, la funcionalidad no era la razón principal de su uso. Además, que solo las personas con un poder adquisitivo alto eran las privilegiadas de poder tener una pata palo o una mano gancho para el día a día.

La era renacentista (1400 a 1800) fue el punto de inflexión donde las distintas disciplinas comenzaron a tener importancia en la vida de las personas, donde el arte, la ciencia, la filosofía y la medicina, se hallaban pequeños descubrimientos. Y en el sector de la

protésica, se empezaron a ver avances al preocuparse por la funcionalidad. En 1508 se realizaron algunas manos de hierro las cuales funcionaban con mecanismos de liberación y resortes, mientras se sujetaba con correas de cuero.

Ambroise Paré se considera el fundador del diseño protésico así como también de la cirugía de amputación. Incluyó varios procedimientos modernos dentro de la medicina así como también diseñó un dispositivo que se colocaba por encima de la rodilla que podía flexionarse, así como también un pie con una posición fija. Su labor se entendió como el inicio del entendimiento real de una prótesis.

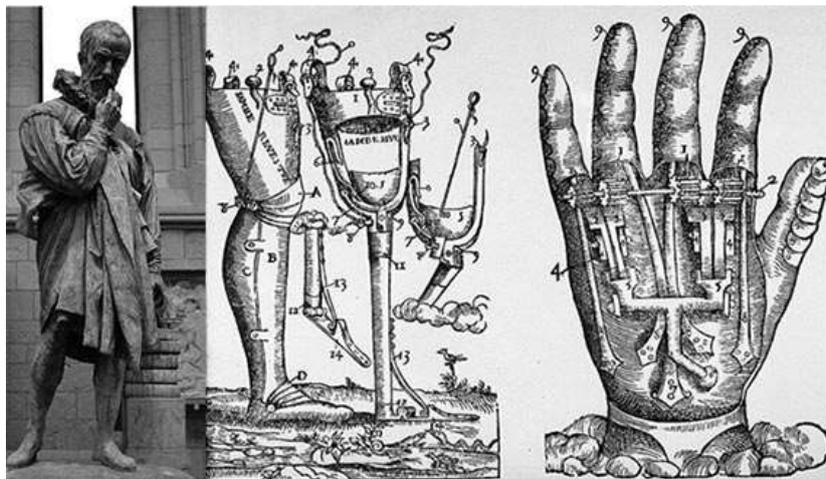


Figura 2: Ambroise Paré y sus diseños protésicos [53]

A raíz de Ambroise Paré los siguientes siglos, más concretamente del siglo XVII al XIX, se desarrollaron distintos tipos de prótesis según las necesidades que iban surgiendo. Con el paso de los años fueron apareciendo distintos tipos de mecanismo y elementos que simulaban el comportamiento de las extremidades, como fue en el caso de James Potts que diseñó una prótesis con articulación de rodilla y pie articulado con cuerdas. Otro logro a destacar, fue el método de amputación del tobillos, donde se dieron cuenta que no era necesario realizar la cirugía a la altura del muslo. Las guerras también fueron importantes para que el campo de la protésica fuera evolucionando, ya que muchos de los heridos debían pasar por quirófano para realizarles cirugías de amputación, así como también para que los médicos indagaran para diseñar nuevos elementos protésicos. Incluso, los militares de la Segunda Guerra Mundial que sufrían la pérdida de alguna extremidad exigían una mejora en los dispositivos protésicos, y el gobierno contrató a compañías militares para que mejoraran estos productos, provocando una relevante mejora en ese sector.

En la actualidad, gracias al avance que se produjo se pueden encontrar dispositivos más livianos dado que el material de fabricación cambió del metal y la madera al plástico. Así como también la introducción de la informática y la robótica dentro de estos miembros artificiales, ha provocado que muchas de las personas que no disponen de uno de los dos miembros tanto inferiores como superiores puedan realizar actividades de la vida cotidiana sin ningún problema. [1]

1.2.2. Historia de la impresión 3D

El mundo de la impresión 3D lleva más de 40 años en la sociedad, pero en las últimas décadas ha sufrido una enorme evolución gracias a la ayuda de las nuevas tecnologías. Sin embargo, para conocer los orígenes de esta nueva manera de fabricación hay que retroceder unos cuantos años hacia atrás.

En 1981 el Dr. Hideo Komada fue el primer hombre en presentar la patente de una impresora en 3D sin llegar a su fabricación por su limitado presupuesto. Sin embargo, decidió seguir con la investigación y desarrolló dos métodos de fabricación aditiva con resina fotosensible.

Durante los siguientes años algunos científicos se interesaron por esta nueva tecnología, pero no fue hasta 1984 cuando Charles Hull descubrió e inventó la estereolitografía, donde se puede crear un objeto en 3D a raíz de datos digitales. Más tarde, se creó la empresa 3D System y Charles Hull es el co-fundador.

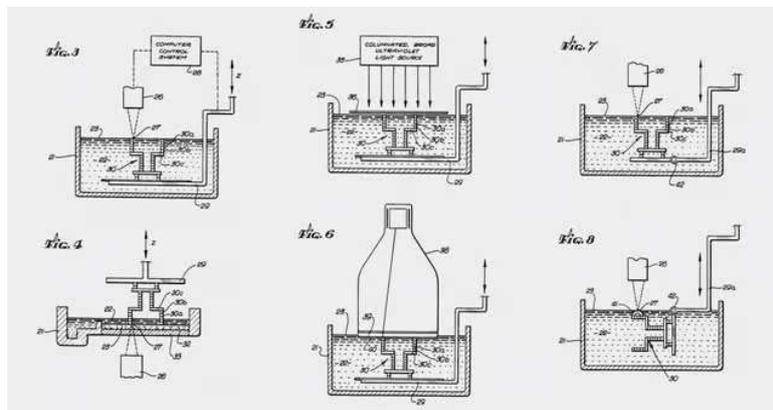


Figura 3: Proceso de estereolitografía [53]

Antes de continuar con los avances más significativos durante las siguientes décadas, cabe mencionar que la impresión 3D es un proceso de fabricación aditivo, que consiste en la deposición de material fundido, suele ser en su mayoría plástico, se coloca capa por capa hasta crear el objeto final.

En 1999, se creó el primer órgano producido en un laboratorio y que luego se le implementó a un paciente. Se realizó un recubrimiento sintético con las propias células del paciente. En 2002 se diseñó un riñón funcional y suficiente por sí mismo ya que podía crear orina y filtrar la sangre. Siguió pasando los años y se crearon las primeras impresoras de SLS (Sinterización de Láser Selectivo). Así como también algunos rediseños de las impresoras 3D para poder utilizar un rango más amplio de materiales, como es el caso de la primera impresora de comida, o la capacidad de autorreplicación de la propia máquina.

En 2008 el sector de la prótesis sufrió una gran evolución al crear la primera prótesis impresa en 3D. Siendo una prótesis de miembro inferior la cual estaba fabricada con todas las piezas unidas sin ningún tipo de montaje, lo que supuso que los fabricantes de prótesis pudiesen desarrollar estos objetos más ajustables y personalizables para cada paciente.

Siguiendo con el campo de la prótesis, en 2012 se creó el primer exoesqueleto en impresión 3D. Se fabricó para una niña de 2 años que desde el nacimiento no podía realizar ningún tipo de movimiento con las extremidades superiores y gracias a este objeto la pequeña pudo recuperar la movilidad de los brazos.



Figura 4: Exoesqueleto en impresión 3D [54]

El año en el cual se empezó a viralizar este tipo de fabricación fue en el 2013 cuando el presidente de los EE.UU, alabó la impresión 3D y las impresoras 3D se empezaron a ver cada vez más en el día a día ya que salían en algunas series televisivas.

Posteriormente este sector se ha ido desarrollando cada vez más con el paso de los años, creando distintos tipos de fabricación 3D, y también por haberse ganado un hueco dentro de la sanidad produciendo órganos artificiales. [2],[3].

1.2.3. Materiales protésicos

Al realizar un breve repaso de la historia de la prótesis, se han podido observar los distintos materiales que han sido fundamentales a la hora de fabricar las prótesis. De este modo, a continuación se van a explicar estos distintos componentes que formaban la sustitución del miembro perdido. [4]

- **Cuero**

El cuero es la piel del animal la cual ha pasado por un proceso de fabricación el cual se llama curtido. La utilización de este material era muy habitual por su facilidad a la hora de trabajarlo, es resistente, de tacto suave y transpirable. Esta tela se utilizaba en distintas áreas artesanales, como para hacer zapatos, bolsas o ropa, y este tipo de manufactura se conocía como marroquinería.

En las primeras prótesis, el cuero se utilizaba para las correas de suspensión o el encaje de las piezas, así como también para realizar corsés que se ataban en el muslo para sujetar la prótesis. A día de hoy, todavía se pueden encontrar algunas prótesis que van sujetas con correas y utilizan este material por su gran resistencia además de su biocompatibilidad.

- **Madera**

El primer material el cual el hombre supo dominar fue la madera y el principal uso de este elemento era en la construcción, pero también se podía encontrar en otros sectores como por ejemplo en los objetos culinarios. La madera se sigue utilizando para la fabricación de objetos ya que tiene unas características que la hacen irremplazable como su resistencia, su ligereza, su costo, o la facilidad a la hora de trabajarlo.

Las pata de palo, o más bien de madera fueron las primeras prótesis funcionales, ya que lo que pretendían era restablecer esa parte del cuerpo que había sido amputada, se pretendía que fuese lo más ligera posible para reducir el peso a la hora de realizar algún movimiento.



Figura 4: Cuero [56]



Figura 5: Madera [57]

- **Tela**

La tela suele utilizar para los recubrimientos de los muñones o también conocido como los calcetines protésicos. Sin embargo, su uso es muy parecido al del cuero ya que también se utiliza para las correas y los arneses que proporcionan la sujeción de la prótesis. Este material suele ser de algodón, lana o mezcla de algunas fibras tanto sintéticas como naturales. Dependiendo del material utilizado para crear el producto, este puede tener unas características u otras, pero las más comunes son la permeabilidad al aire, la elasticidad, su transpirabilidad, la densidad y la resistencia al rasgado.

- **Metales**

Al igual que la madera, los metales también fueron un buen aliado del hombre ya que desde su descubrimiento el hombre ha utilizado este material para muchos sectores, siendo uno de ellos el de la protésica y las primeras prótesis halladas estaban hechas de hierro y bronce.

En el caso del hierro es un metal duro pero maleable siendo esta última característica muy útil a la hora de darle forma a la prótesis. Además tiene una alta dureza por lo que también implica que es resistente, pero este material se oxida al entrar en contacto con el oxígeno, el aire húmedo y las altas temperaturas por lo que podía provocar que no fuese adecuado para estar en contacto con la piel.

El bronce era otro de los metales que se utilizaban para la fabricación de las prótesis gracias a su fácil manipulación y la resistencia a la corrosión lo que proporcionaba una larga vida útil del objeto.

Con el paso de los siglos fueron apareciendo otros metales con los que se podían realizar prótesis más estéticas, menos pesadas y más biocompatibles. Entre estos metales destacan 3; el aluminio, el acero y el titanio.

El aluminio, se empezó a utilizar por su ligereza y por su facilidad para la manipulación, suele ser un material el cual se utiliza para la zona de las articulaciones ya que es lo suficientemente resistente.

El acero, es un metal muy resistente pero a su vez muy pesado, por tanto este es utilizado en pequeñas piezas para asegurar la resistencia del conjunto de la prótesis.

El titanio, se podría decir que es una mezcla de los dos materiales anteriores ya que es muy resistente al igual que liviano, pero el precio de este material es mucho más elevado que los anteriores.

Cierto es, que hoy en día, los metales en los componentes protésicos son mínimos debido a la gran variedad de polímeros que hay en el mercado. Sin embargo, sigue habiendo muchas piezas de las prótesis que se siguen fabricando con metales ya que hay características que no se pueden encontrar en los materiales plásticos.



Figura 6: Telas [58]



Figura 7: Metales [59]

- **Polímeros**

Los polímeros se empezaron a desarrollar en el siglo XX, y hasta el día de hoy no se han dejado de inventar nuevos materiales para mejorar propiedades. En la actualidad, los polímeros son uno de los materiales más utilizados en el mundo por su gran versatilidad, la cual se ha podido comprobar en muchos sectores, y uno de ellos es el campo de la protésica.

Es importante mencionar, que dada la gran variedad de polímeros que hay en el mundo, en el ámbito de las prótesis se utilizan distintos tipos de plásticos dependiendo de la funcionalidad o las características que se quieran satisfacer.

Para comenzar con esta gran familia se van a mencionar los acrílicos, que son termoplásticos que tienen una gran resistencia y durabilidad. De estos materiales se suelen utilizar fibras acrílicas para realizar mezclas sintéticas para poder fabricar calcetines protésicos ya que es un material que se puede lavar en la lavadora y no pierde el tacto suave. De este grupo también se deben destacar las resinas, ya que son altamente resistentes y se pueden deformar con facilidad al recalentar el termoplástico y adaptarlo a la prótesis.

A continuación las resinas de poliéster son plásticos termoendurecibles y el uso principal de este material suele ser las laminaciones en las prótesis. Las resinas de poliéster tienen un uso más complejo ya que no se pueden volver a calentar y deformar después de su fabricación, ya que al calentarlo las características físicas del material podrían verse alteradas. El uso más común de este material es en las prótesis estéticas ya que éstas se suelen asemejar a la apariencia de la extremidad.

Las siliconas también son muy utilizadas dentro de la protésica, tanto para las prótesis internas como para las externas. Este material está dotado de una serie de características que lo posicionan en un buen material a la hora de utilizarlo en las prótesis. Sus propiedades son muy homogéneas cuando el material se encuentra expuesto a una alta temperatura. Además son materiales químicamente inertes y tienen la capacidad de repeler el agua.

Seguidamente, otro de los materiales que últimamente están cogiendo mucho protagonismo son las fibras, tanto la de carbono como la de vidrio. Estos dos materiales se suelen usar para reforzar los componentes ya que tienen propiedades mecánicas muy buenas. La fibra de carbono es un material muy rígido y muy resistente, pero su manipulación es muy dificultosa ya que si se dobla excesivamente esta se puede romper. Suele estar incorporada en los encajes protésicos, así como también en algunas soluciones dinámicas para acumular energía. Por otro lado, la fibra de vidrio es mucho más barata, es menos resistente y rígida que la anterior, pero su maleabilidad es mejor ya que no se rompe con tanta facilidad pero es recomendable que el material no se encuentre expuesto. En estos dos materiales, la colocación de las fibras es importante para tener un mejor refuerzo.



Figura 8: Polímeros [60]

1.2.4. Materiales de impresión 3D

Debido a que la impresión 3D solo lleva cuatro décadas en el mundo, los materiales que se pueden utilizar dentro de esta tecnología son escasos. Sin embargo, gracias a las nuevas tecnologías se está observando un gran incremento de materiales que van a poder implantarse dentro de la fabricación aditiva. Ciertamente es que hay un grupo de materiales que está muy avanzado respecto a los demás, ya que es el que más se ha desarrollado en los últimos años cubriendo un gran espacio dentro de este sector.

A continuación se van a exponer los distintos tipos de materiales más comunes que se pueden encontrar dentro de la impresión 3D. [5],[6],[7]

- **Materiales plásticos**

El conjunto de los polímeros es el más extenso dentro de la impresión 3D, ya que se han desarrollado distintos tipos de impresión 3D que requieren distintos materiales poliméricos.

Los termoplásticos son los materiales más utilizados ya que su característica más esencial es la de poder soportar varios ciclos de fusión y solidificación, pero cada vez que se produce la fundición el material las propiedades del material se ven modificadas. Son materiales que se pueden someter a altas temperaturas para poder darles la forma deseada, teniendo presente que el proceso es reversible ya que no se crean enlaces químicos y eso permite su reciclabilidad y reutilización. Los tipos de termoplásticos más comunes que se utilizan son el ABS (Acrilonitrilo butadieno estireno) y el PLA (Poliácido Láctico), pero también hay muchos más tipos de termoplásticos que se pueden usar para la impresión 3D.

Posteriormente, la familia de los termoendurecibles son aquellos materiales que permanecen sólidos después del proceso de curado, que se lleva a cabo por la inducción de luz, radiación o calor. Estos materiales al calentarse se descomponen a diferencia del caso anterior que se funden, por tanto después no es posible recuperar su forma inicial y eso provoca que no sean reciclables. Los tipos de plásticos termoendurecibles más comunes son las resinas.

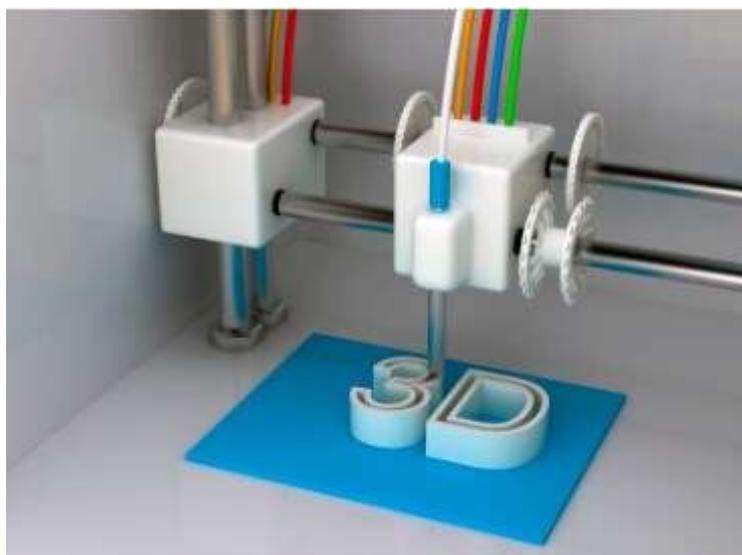


Figura 9: Impresión de plástico [61]

- **Materiales metálicos**

Dentro de la fabricación aditiva, ya se han empezado a incorporar metales desde hace un par de años y se encuentra esta tecnología dentro de los sectores como automotriz, aeroespacial y médica. La impresión de estos materiales permite fabricar piezas únicas más baratas en comparación con los métodos de fabricación clásicos. Se debe mencionar que a día de hoy, el uso principal de la extrusión de metales es para fabricar herramientas o piezas acabadas. De este modo, se van a nombrar aquellos metales que son más comunes dentro de la impresión 3D.

En primer lugar se encuentra el aluminio, ya que debido a su ligereza y resistencia se pueden crear pequeñas piezas pero resistentes a su vez.

A continuación, el acero también se encuentra como un material para impresión 3D que sobre todo está enfocado al sector de la industria ya que está dotado de unas buenas características mecánicas y tiene un acabado superficial muy bueno. Cabe destacar que dentro de la impresión de metales es el material más utilizado.

Seguidamente el titanio o el cobalto-cromo también ocupan un papel dentro de esta tecnología, los cuales están enfocados al sector médico. Esto se debe a que las propiedades de estos materiales se adaptan a los requisitos de este ámbito como puede ser la resistencia a la corrosión o la biocompatibilidad. [8]

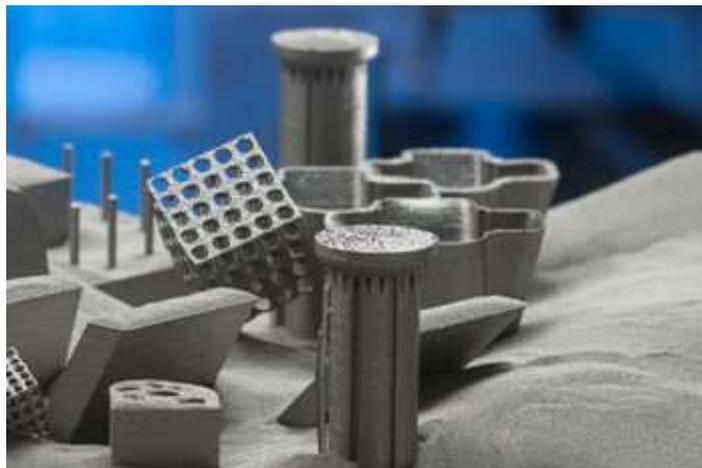


Figura 10: Impresión de metales [62]

- **Materiales cerámicos**

Otro de los avances que ha sufrido la impresión 3D es la impresión de objetos con materiales cerámicos, y dentro de estos materiales hay dos tipos de cerámica; de óxidos y no óxidos. La primera cerámica, la cual contiene óxidos es la que está creada a partir de alúmina, zirconia y sílice. Y en el caso del segundo grupo, la cerámica está hecha de silicio, boruro de silicio o nitruro de silicio. Estos materiales se usan cuando se quiere fabricar una pieza que resista altas temperaturas.

Uno de los materiales a destacar dentro de este grupo es la arena, la cual se utiliza para la creación de objetos complejos, ya que al hacer uso de este material se reducen los residuos, se crea un ahorro de energía y el tiempo de fabricación es más reducido que en

otros procesos. La ventaja a destacar es que se puede realizar una producción en masa o para la fabricación de prototipos.

El cemento es otro de los materiales que a día de hoy se está utilizando dentro de la impresión 3D y donde ya se puede ver en la construcción de viviendas, siendo un proceso mucho más rápido al tradicional y más económico.

Siguiendo con los materiales cerámicos, se han creado dos filamentos de madera y piedra, al cual se le ha añadido una parte de plástico. Lo destacable de estos dos nuevos materiales es el acabado superficial, ya que simulan a la perfección el material original. [9]

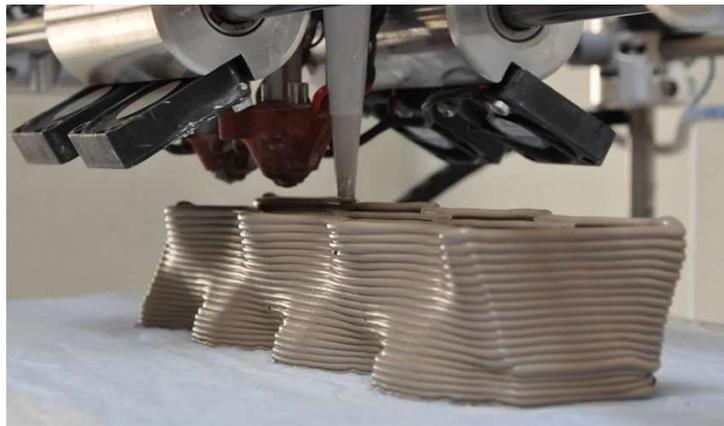


Figura 11: Impresión de cerámica [63]

- **Materiales orgánicos**

De este último apartado se pueden destacar tres grandes subgrupos como son los tejidos biológicos, las ceras y los alimentos.

La bioimpresión es el proceso de impresión 3D de una biotinta, este es un material el cual está hecho a partir de material celular y con el que se pueden obtener distintos tipos de partes del cuerpo como tendones u órganos.

Por otro lado, la impresión de ceras está especialmente enfocada para la creación de piezas mecánicas, obras de arte y para el sector de la joyería.

Y por último, la impresión de comida ya es una realidad donde se pueden obtener distintos tipos de comida, desde pasta hasta helado. [9]



Figura 12: Impresión materiales orgánicos [64]

1.3. NORMAS Y REFERENCIAS

Tabla 1: Normativa

NORMATIVA DE LA PROTÉSICA	
<p>Reglamento (UE) 2017/ 745 del 5 de abril de 2017</p>	<p><i>El presente reglamento tiene por objeto garantizar el buen funcionamiento del mercado interior por lo que se refiere a los productos sanitarios, tomando como base un elevado nivel de protección de la salud de pacientes y usuarios.</i></p> <p>Por otro lado, este reglamento cataloga los dispositivos según el grado de peligro para el paciente. Un dispositivo protésico está clasificado dentro de la Clase 1, ya que la utilización de este se considera de tiempo prolongado así como no peligroso.</p> <p>Se deben tener en cuenta las siguientes indicaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Especial relevancia en el análisis toxicológico en el estudio de seguridad del producto. ● El producto debe tener un manual de usuario. ● Declaración de conformidad UE y marcado CE del producto.
<p>Anexo XIII: Procedimiento para los productos a medida</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● <i>Nombre y dirección del fabricante y de todos los lugares de fabricación.</i> ● <i>Si procede, el nombre y la dirección del representante del producto</i> ● <i>datos que permitan identificar el producto en cuestión</i> ● <i>Declaración de que el producto se destina a ser utilizado exclusivamente por un paciente o usuario determinado, identificado por un nombre, un acrónimo o un código numérico</i> ● <i>El nombre de la persona que haya extendido la prescripción y que está autorizada para hacerlo por la legislación nacional en virtud de su cualificación profesional, y, si procede, el nombre del centro sanitario de que se trate</i> ● <i>Las características específicas del producto indicadas por la prescripción</i> ● <i>Declaración de que el producto es conforme con los requisitos generales de seguridad y funcionamiento del anexo 1 y, si ha lugar, indicación de los requisitos generales de seguridad y funcionamiento que no cumple totalmente, con mención de los motivos</i> ● <i>Si procede, una indicación de que el producto contiene o lleva incorporada una sustancia medicinal, incluido un derivado de sangre o de plasma humano, o células o tejidos de origen humano o de origen animal contemplados en el Reglamento (UE) n.o 722/2012.</i>
<p>UNE-EN ISO 22523:2007</p>	<p>Prótesis de miembros externos y ortesis externas. Requisitos y métodos de ensayo.</p>
<p>ISO 13405-3:2015</p>	<p>Prótesis y ortesis. Clasificación y descripción de los componentes protésicos. Parte 3: Descripción de los componentes protésicos de miembro superior</p>
NORMATIVA DE LA FABRICACIÓN ADITIVA	
<p>UNE-EN ISO/ASTM 52900:2022</p>	<p>Fabricación aditiva. Principios generales. Fundamentos y vocabularios.</p>

1.4. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

Tabla 2: Definiciones

DEFINICIONES	
Prótesis	Un dispositivo o prótesis artificial es una pieza o aparato que se coloca en el cuerpo humano para sustituir un órgano, miembro, o parte del cuerpo que está faltante. [10]
Ortesis	Las órtesis son un apoyo u otro dispositivo externo aplicado al cuerpo para modificar los aspectos funcionales o estructurales del sistema neuromusculoesquelético. [16]
Amputación	Amputación es el término médico para la remoción de una parte del cuerpo, como una extremidad, a través de una cirugía. Esto se hace generalmente para tratar una variedad de afecciones, como una lesión grave, una infección severa, una enfermedad vascular o un tumor maligno.[11]
Desarticulación	Incisión de una parte del cuerpo en una articulación.
Muñón	El muñón es la parte sobrante de un miembro que ha sufrido una amputación y el cual se entiende entre la superficie seleccionada y la articulación más cercana. [12]
Fabricación Aditiva	Proceso de unión de materiales para realizar objetos a partir de datos de modelos 3D, generalmente capa sobre capa, en oposición de metodologías de fabricación sustractivas.

Tabla 3: Abreviaturas

ABREVIATURAS	
UNE	Norma española
ISO	Norma Internacional
FFF	Fused Filament Fabrication
STL	Fichero de información
g	gramos
kg	kilogramos
cm	centímetros
mm	milímetros
m ³	metros cúbicos
UE	Unión europea
dfA	design for Assembly
dfE	design for Environment
TFMA	Tasa Media de Fallo Admisible
MPa	Megapascales
g/cm ³	gramo partido centímetro cúbico
h	horas
°C	grados centígrados
82A	dureza shore A
km	kilómetro
MJ	Megajulios
CO ²	Dióxido de carbono

1.5. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

El mundo de la prótesis es un sector que se considera altamente personalizable, ya que la mayoría de las prótesis que se realizan suelen fabricarse única y exclusivamente para un solo paciente. De este modo, surge la imposibilidad de realizar un estudio de mercado de las prótesis de extremidad superior. Por ellos se ha pensado en realizar un estudio sobre los distintos tipos de prótesis que existen, además de un análisis más detallado de los tipos de prótesis de miembro superior que existen.

Por otro lado, al ser un producto el cual se va a fabricar en impresión 3D, también se va a realizar un pequeño estudio sobre los distintos tipos de impresión que hay dentro de este campo.

Finalmente, se elaborará un breve estudio del usuario para poder comprender y determinar cuál va a ser el público objetivo.

1.5.1. Tipos de prótesis

- **Prótesis ortopédicas**

Las prótesis ortopédicas son los dispositivos externos que cumplen la función de reemplazar total o parcialmente una extremidad del cuerpo, ya sea inferior como superior. Es un objeto que tiene como función principal la sustitución del miembro de forma artificial y devolver al usuario la movilidad de la parte del cuerpo faltante. Estos diseños suelen ser una mezcla entre una prótesis y una órtesis ya que su finalidad es la adaptación del aparato al cuerpo del usuario. Dentro de las prótesis ortopédicas se pueden destacar dos funciones; la protésica, la cual se define como la función que está relacionada con el equilibrio y el reemplazo del miembro perdido, ya que proporciona al usuario la normalidad del equilibrio y el movimiento. Y por otro lado, la órtesis que está relacionada con los huesos, las articulaciones y los músculos ya que ayuda a sostener, proteger y corregir los elementos nombrados para proporcionarles un buen soporte a la hora de realizar las acciones y movimientos.

Dentro de este apartado hay muchos dispositivos distintos entre los que el paciente puede escoger, como son las prótesis mioeléctricas, las mecánicas o las estéticas entre otras. Sin embargo, muchos de los usuarios están limitados por el coste de estos aparatos. [14], [15]



Figura 13: Prótesis ortopédicas [65]

- **Prótesis mecánicas**

Las prótesis mecánicas suelen ser más utilizadas por aquellas personas que se han sometido a una amputación, o también para aquellas personas que sufren una discapacidad ya que pueden ayudar a la mejora de la calidad de vida. Estos dispositivos mecánicos realizan distintos movimientos y acciones mediante la abertura y el cierre que está accionado por cables y cintas de sujeción que están unidas al cuerpo humano. El movimiento que se desarrolla es de tracción el cual está derivado de la tensión de los cables. Las prótesis mecánicas están dentro de las prótesis funcionales ya que se pueden llevar a cabo diferentes acciones pero estas están limitadas por la propia energía del cuerpo humano. Es cierto, que la evolución de este tipo de prótesis ha permitido introducir sensores y dispositivos de procesamiento para poder tener un mayor control sobre el miembro artificial. Sin embargo, la función principal de las prótesis mecánicas es intentar replicar la forma inicial del miembro amputado, proporcionando una funcionalidad lo más parecida a los movimientos originales.

En cuanto a la parte estética de este tipo de prótesis se puede decir que el recubrimiento de los cables tensores y de los demás componentes se realiza con materiales resistentes como el acero inoxidable, el aluminio o la fibra de carbono.

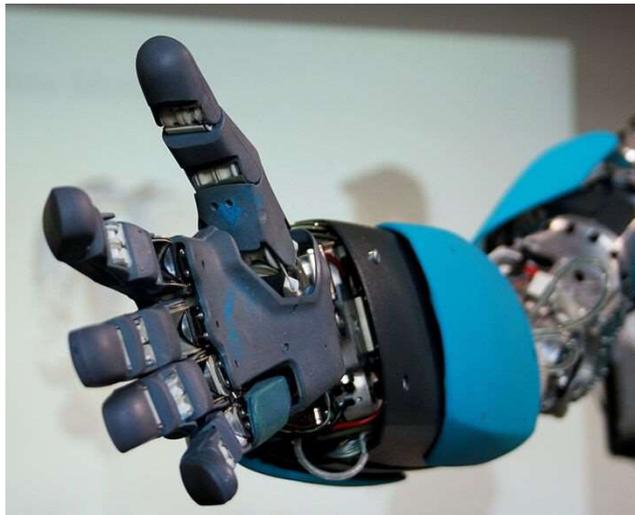


Figura 14: Prótesis mecánica [66]

- **Prótesis mioeléctricas**

Las prótesis mioeléctricas están desarrolladas a partir de las ramas de la informática, la robótica, la cibernética y la mecatrónica. Estos aparatos son más complejos que los anteriores ya que funcionan con señales que el músculo desarrolla cuando se flexiona y contrae porque proporciona una diminuta señal eléctrica, que es captada por los sensores que están en contacto con la piel. Y de esta pequeña señal se desarrolla todo el movimiento que el paciente desea realizar.

Dentro del mundo de las prótesis este tipo son las más utilizadas, ya que además de proporcionar una funcionalidad, también son más estéticas que las anteriores, ya que todos los componentes eléctricos y mecánicos se encuentran dentro de la prótesis y no se necesita ningún recubrimiento extra. [18]



Figura 15: Prótesis mioeléctrica [67]

- **Prótesis estéticas**

Las prótesis estéticas están diseñadas específicamente para satisfacer una única función, la cual es completamente la de sustituir de la forma más realista posible el miembro superior faltante. Suelen ser componentes a medida, ya que lo que prima es la comodidad del usuario al hacer uso de esta. Los materiales de este tipo de prótesis suelen ser siliconas por su acabado final y su suave textura lo que se asemeja bastante al tejido de la piel. [17]



Figura 16: Prótesis estética [68]

- **Prótesis auditivas**

Las prótesis relacionadas con el sentido de la oída están fabricadas para aquellos pacientes que sufren una sordera parcial o quieren mejorar la recepción de los sonidos. La función principal de las prótesis auditivas es la amplificación de las ondas sonoras exteriores. Cabe destacar que las personas que sufren una sordera total no hacen uso de estas prótesis ya que no funcionan.



Figura 17: Prótesis auditivas [69]

- **Prótesis cardiacas**

Las prótesis cardiacas surgieron a raíz de las dolencias relacionadas con el corazón, como es el caso de un estrechamiento de válvulas lo que ocasiona que la sangre no fluya de manera adecuada. Este tipo de prótesis se caracteriza por la utilización de materiales de procedencia animal, aunque también se utilizan metales y plásticos, pero en todo momento que sean compatibles biológicamente con el paciente. Son aparatos funcionales ya que intentan restablecer el buen funcionamiento del corazón.

Otro dato a destacar es que es de las pocas prótesis por la cual se debe pasar por quirófano para poder hacer uso de esta. [19]



Figura 18: Prótesis cardiacas [70]

- **Prótesis faciales**

Las prótesis faciales están altamente relacionadas con las prótesis estéticas, ya que su principal función es la de devolver de la forma más realista posible la parte que ha sufrido una deformación. Se suelen poner sobre la deformación, a modo de parche y donde más se utilizan es sobre la nariz, frente y labios. Cabe destacar que dentro de esta familia existen tanto las internas, conocidas como implantes faciales, como las externas. Las relacionadas con el primer grupo los pacientes o usuarios deben someterse a una operación. En el caso de las externas, se suelen poner con un pegamento especial para la piel. [22]



Figura 19: Prótesis faciales [71]

- **Prótesis dentales**

Las prótesis dentales son de las más comunes hoy en día, ya que igual que las anteriores también cumplen mayoritariamente una función estética. Sin embargo, también desarrollan una funcionalidad a la hora de realizar la mordida de los alimentos. Estas prótesis son personalizadas ya que se adaptan a cada paciente, ya que consisten en el reemplazo de uno o varios dientes. Los materiales que se utilizan [21]



Figura 20: Prótesis dentales [72]

1.5.2. Tipos de prótesis de extremidad superior

Seguidamente, después de nombrar y explicar brevemente los distintos tipos de prótesis que hay en el mercado, se ha realizado una búsqueda más detallada y enfocada en las prótesis de miembro superior. [24],[26]

- **Prótesis pasivas**

En primer lugar, se encuentran las prótesis pasivas que como bien se intuye en el nombre no tienen ninguna funcionalidad móvil, solo se encargan de la parte estética. Son prótesis que están diseñadas y fabricadas para restaurar y mejorar la apariencia física del usuario. La apariencia de estos objetos es muy realista gracias a los materiales que se utilizan como son el PVC rígido, la silicona o el látex, ya que son ligeros y el mantenimiento es sencillo. Debido a que satisfacen únicamente la parte estética, se pueden encontrar distintos tamaños y sexos.



Figura 21: Prótesis pasivas [73]

- **Prótesis accionadas por el cuerpo**

Las prótesis accionadas por el cuerpo o como también se las conoce como las prótesis mecánicas pero en este caso enfocadas al miembro superior. Este tipo de dispositivo es el más utilizado por los usuarios, ya que suelen ser menos costosos, duraderos y su mantenimiento es más sencillo que las otras que también tienen parte móvil.

Como se ha mencionado en el apartado anterior, el funcionamiento se realiza gracias a las correas que se sitúan a la altura del omoplato y en el hombro para utilizar el movimiento de la escápula y así accionar la articulación que se desee mover.



Figura 22: Prótesis accionada por el cuerpo [74]

- **Prótesis mioeléctricas accionadas externamente**

El siguiente tipo de prótesis son muy parecidas a las anteriores con el cambio de que no es necesario mover ningún otro hueso o músculo para realizar el movimiento de las articulaciones artificiales. Se sabe por la breve explicación anterior que las prótesis mioeléctricas utilizan sensores que recogen las señales musculares que quedan en el muñón para convertirlas en otros movimientos.



Figura 23: Prótesis mioeléctrica accionada externamente [75]

- **Prótesis híbridas**

En este caso, las prótesis híbridas combinan el funcionamiento de las prótesis mecánicas y las prótesis mioeléctricas. Este tipo de aparato se suele utilizar para aquellas personas que han sufrido un nivel de amputación por encima del codo, lo que se conoce como amputación transhumeral. El funcionamiento se rige por la potencia corporal que se extrae de las prótesis mecánicas y por la potencia se las señales eléctricas que se extraen del músculo restante. [25]



Figura 24: Prótesis híbrida [76]

- **Prótesis específicas para cada actividad**

El último caso, está enfocado a todas aquellas personas que ha nacido con una malformación o ha sufrido una amputación pero realiza una misma actividad cada día y necesita un apoyo. Dentro de este tipo de prótesis sobre todo se encuentran usuarios que realizan algún tipo de deporte de forma profesional. Sin embargo, también se han fabricado prótesis específicas para distintos tipos de trabajo donde el usuario pueda proteger el muñón y a la vez desempeñar las funciones requeridas dentro de ese entorno. Las prótesis especiales para cada actividad suelen ser mayoritariamente pasivas o controladas por la persona, es decir, mecánicas.



Figura 25: Prótesis específica para atletismo [77]

1.5.3. Partes de una prótesis de extremidad superior

Teniendo presente que ya se conocen todos los tipos de prótesis que se pueden encontrar en el mercado relacionadas con la extremidad superior, también se deben analizar estas por partes, para poder saber cuales son los componentes más comunes, y así entender mejor su funcionamiento.

Cabe destacar que cada parte de la prótesis está diseñada para realizar una función, ya sea meramente estética, protectora o funcional. Además, no es necesario que todas las prótesis tengan todos los elementos que se van a mencionar posteriormente, ya que dependiendo de cada caso se utilizan unos componentes u otros. [26]

Las siguientes partes son las más utilizadas dentro de la protésica;

- **Encaje:** es el objeto que se encuentra entre la prótesis y el muñón, es decir, su función principal es proteger adecuadamente la parte de la extremidad restante. La fabricación de esta pieza es totalmente personalizada y adaptada a cada paciente. El encaje es una sola pieza pero verbalmente se suele dividir en parte interna, la cual está en contacto con el muñón y la parte externa que da forma al muñón.
- **Unidad de codo:** se trata de la pieza que sustituye y simula la funcionalidad del codo.
- **Dispositivo terminal:** es el final de la prótesis, en otras palabras, la parte que suele realizar la acción de sostener y agarrar. Este componente es funcional ya que va precedido de un funcionamiento mecánico o eléctrico.
- **Unidad de muñeca:** es la unión entre el dispositivo de unión de la parte artificial del antebrazo con el dispositivo terminal. La función que desempeña este componente es la de simular la movilidad de la muñeca.
- **Sistema de suspensión:** este sistema o conjunto hace referencia a la sujeción del muñón la cual se suele realizar por medio de unas tiras o correas. La funcionalidad de este sistema de suspensión es para aguantar de forma segura y resistente la prótesis.
- **Sistema de control:** hace referencia a los cables que se utilizan para otorgar una funcionalidad desde las unidades de codo o muñeca, hasta el dispositivo terminal para así realizar la acción.



Figura 26: Encaje de prótesis [78]

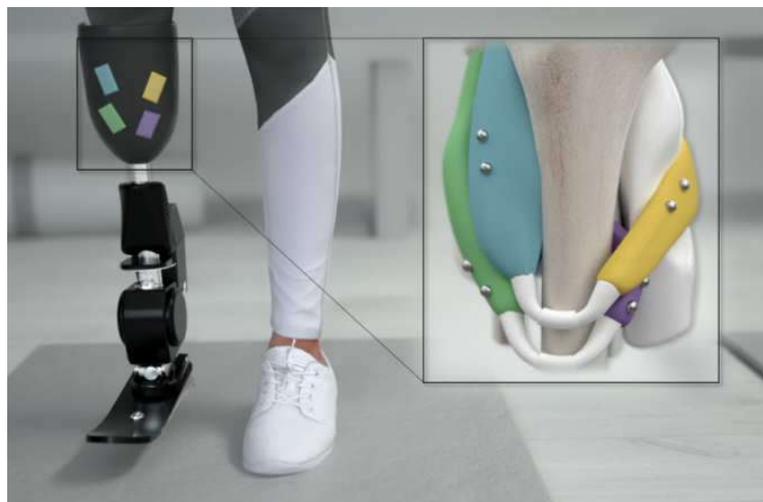


Figura 27: Sistema de control de prótesis [79]

1.5.4. Tipos de impresión 3D

Desde sus inicios, la impresión 3D no ha dejado de crecer y su evolución ha supuesto la aparición de nuevos tipos de impresión. Por ello a día de hoy se pueden encontrar hasta 7 tipos de fabricación aditiva diferentes, donde cada uno de estos procesos se puede subdividir para formar variantes del mismo desarrollo. Sin embargo, en este apartado, se van a explicar estas 7 tecnologías de forma global para tener algunos conocimientos básicos del mundo de la impresión 3D.

En la siguiente imagen, se puede observar un esquema de la fabricación aditiva que hay en el mercado, pero hay una de estas tecnologías que ha destacado por encima de las otras, por ser la más económica y sencilla, esta es la FDM (Fused Deposition Modeling) o FFF (Fused Filament Fabrication).

A continuación se van explicar brevemente en qué consiste cada tipo de fabricación aditiva que se han observado en la imagen superior. [27]

- **Fotopolimerización:** como se puede ver en la imagen esquemática, este proceso pertenece a la primera rama de las tecnologías. Este proceso consiste en la contención de un líquido el cual está dentro de un recipiente y este se va solidificando gracias a una luz visible o a la radiación de rayos UV. El material que se vierte sobre la cavidad es un fotopolímero, y más concretamente son resinas, las cuales se endurecen después del proceso de cura. Este proceso, reside en la solidificación del material por la radiación o la luz visible que recibe selectivamente el material estancado. Dentro de esta fabricación aditiva se encuentran tres tecnologías: SLA (Estereolitografía), DLP (Direct Light Processing) y CDLP (Continuous Direct Light Processing).



Figura 28: Proceso de fotopolimerización [80]

- **Extrusión de materiales:** la siguiente tecnología es la más longeva y por tanto la primera en salir al mercado. Además, también es la más utilizada y económica de todas las fabricaciones aditivas. El proceso de extrusión de material se conoce por las siglas MDF (Modelado por deposición fundida) o FFF (Fused Filament Fabrication). El desarrollo de esta tecnología es la deposición selectiva de material fundido en una dirección predeterminada, la cual se va acumulando capa por capa hasta obtener la pieza final.

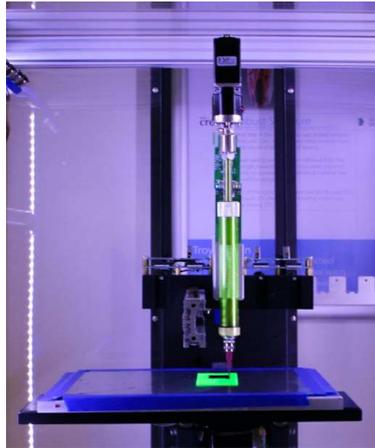


Figura 29: Proceso de extrusión. [81]

- Material Jetting o Inyección de material:** el siguiente proceso de fabricación aditiva consiste en la deposición de gotas de resina que son fotosensibles, que con ayuda de la luz ultravioleta se endurecen. Dentro de esta fabricación existen tres tipos de tecnologías distintas las cuales están divididas por el material que utilizan. El primer tipo es MJ (Material Jetting) la cual funciona con polímeros, el segundo tipo es NPJ (NanoParticle Jetting) que utiliza metal para sus objetos finales. Y por último DOD (Drop On Demand) que el material que predomina es la cera. [28]

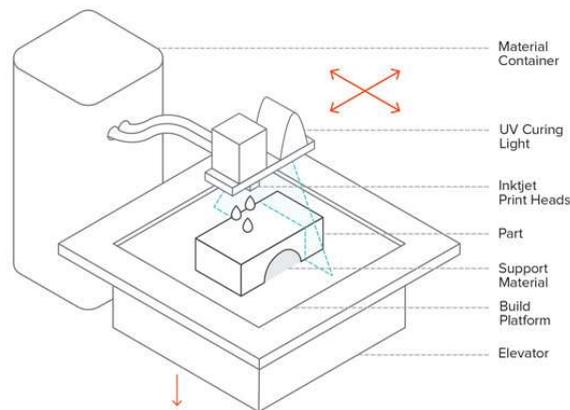


Figura 30: Proceso de inyección de material [82]

- Binder Jetting o Inyección aglutinante:** como se puede observar tiene la palabra inyección en común con la anterior tecnología, pero en este caso el cambio radica en el material de utilización. En este caso, se depositan selectivamente gotas de aglutinante sobre una cama de polvo, y la combinación de los dos materiales crea los objetos finales. En esta tecnología también existe la utilización de metal y el proceso es conocido como MBJ (Metal Binder Jetting). [28]

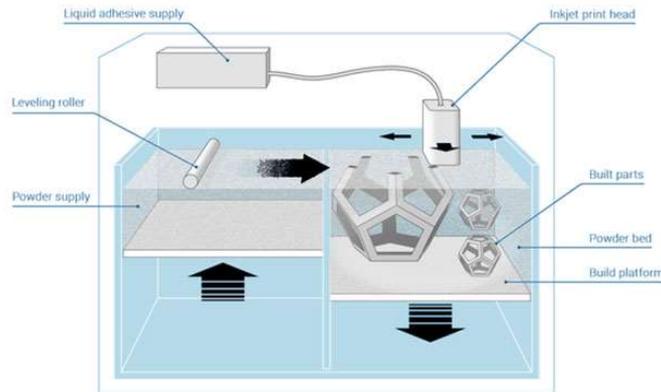


Figura 31: Proceso de inyección de aglutinante. [83]

- Powder Bed Fusión o Fusión por lecho de polvo:** el proceso de esta fabricación aditiva se produce cuando se aplica una capa de polvo sobre un soporte para que esta se funda gracias al uso de una fuente de energía de alta potencia. Dentro de este proceso de fabricación se encuentran 4 variantes del proceso, donde la principal diferencia reside en el material. En primer lugar MJF (Multi Jet Fusion) y SLS (Selective Laser Sintering) utilizan polímeros. Y por otro lado DMLS (Direct Metal Laser Sintering) y EBM (Electron Beam Melting) que hacen uso de materiales metálicos como indica el nombre. [

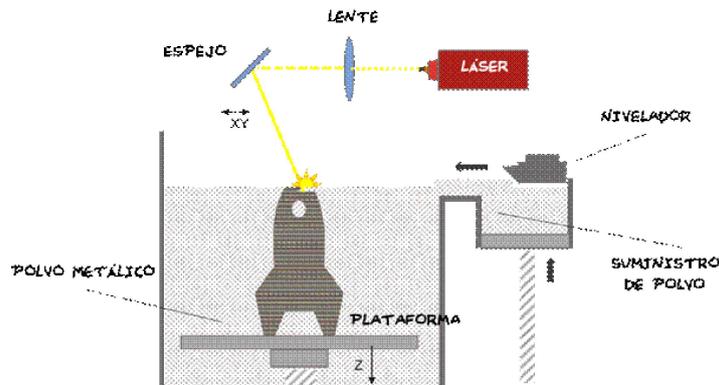


Figura 32: Proceso de fusión por lecho de polvo [84]

- Direct Energy Deposition o Deposición de Energía Dirigida:** el siguiente proceso está relacionado con el anterior, pero en este caso se van creando las piezas cuando el polvo se va depositando a la misma vez que la fuente de energía choca contra este. Dentro de este proceso de fabricación también hay distintos tipos pero la diferencia no se encuentra en el material, si no que es sobre la fuente de energía. El primer tipo es LENS (Laser Engineered Net Shaping) que utiliza como fuente de energía un láser. Y el otro tipo EBAM (Electron Beam Additive Manufacturing) donde la fuente de energía es un haz de electrones. En esta tecnología el material de uso es el metal. [30]

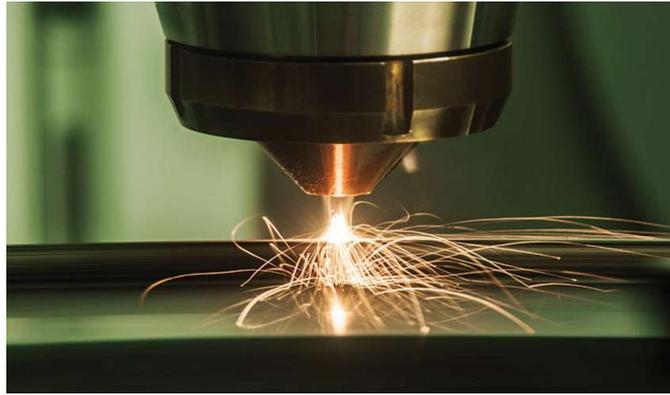


Figura 33: Proceso de deposición de energía dirigida [85]

- Sheet Lamination o Laminación de láminas:** la última rama del esquema de los procesos de fabricación aditiva, consiste en la colocación de láminas unas encima de otras las cuales se adhieren las unas con las otras gracias a un pegamento y posteriormente se cortan con cuchilla o láser. A este proceso se le conoce como LOM (Laminated Object Manufacturing), y se considera una forma rápida y económica de impresión. Los materiales que se pueden utilizar dentro de esta tecnología son los materiales compuestos y el papel. [31]

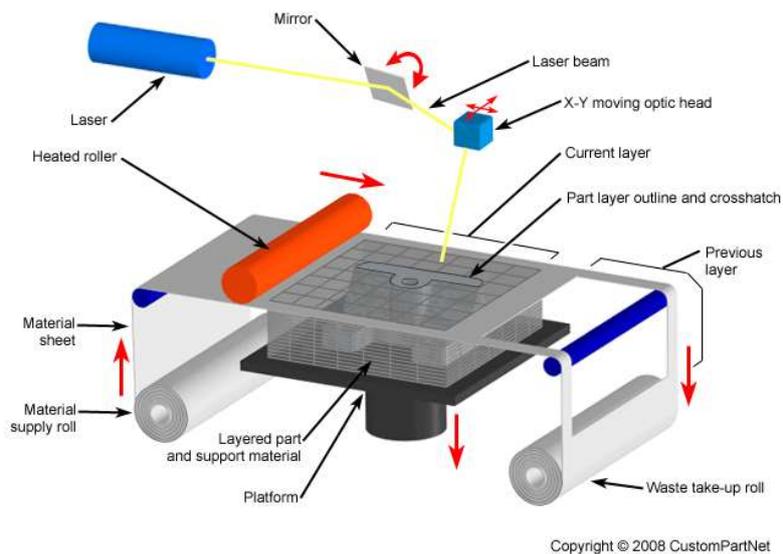


Figura 34: Proceso de laminado de láminas [86]

1.5.5. Público objetivo

Para conocer a qué personas va a estar dirigida el nuevo diseño de la prótesis de extremidad superior, se ha realizado una interacción con personas adultas a las cuales les faltaba la extremidad superior, así como también con médicos y asociaciones relacionadas con los dispositivos protésicos.

En primer lugar, se contactó a través de una red social con personas que sufrían este tipo de patología. Se les comunicó la idea del proyecto y en algunos casos sí se obtuvo alguna respuesta que sería de gran ayuda para el posterior proceso de ideación. De esta etapa, se quiere resaltar a una chica chilena atleta profesional, que mencionaba que tenía dos prótesis, una para usar diariamente y otra específica para cuando realizaba atletismo. Pero de la primera prótesis se quejaba que era muy pesada, y que había una serie de movimientos que no podía realizar como por ejemplo sostener las verduras, mientras con el otro brazo cortaba.

Por otro lado, se interactuó con profesionales de la sanidad del Hospital Universitario de La Fé en Valencia, con los cuales se intercambiaron una serie de datos que serían de gran ayuda. Estos médicos cooperaron desde el ámbito de la sanidad, a la hora de explicar cómo funciona el proceso de una cirugía de amputación, y también la composición biológica de la extremidad superior, recalcando cuales eran las partes más importantes a tener en cuenta.

Además, también se acudió a un centro de ortopedia técnica, llamado Ortoprono, donde se pudo hablar con profesionales que estaban en contacto tanto con las prótesis como con los usuarios, ya que ayudan a los pacientes a saber desenvolverse con los dispositivos. Dentro de este centro, se pudo extraer una pequeña información sobre las personas que acudían después de una cirugía de amputación donde la profesional recalca *“muchos de los pacientes que acuden después de la operación están dispuestos a meterse dentro del mundo de las prótesis. Pero, el proceso es largo y muchos de ellos se acaban acostumbrando a la nueva normalidad que viven, y muchos otros no se lo pueden permitir.”*

Posterior a toda la recopilación de datos, tanto de las redes sociales como de los profesionales, se pudo saber que las personas que sufren la pérdida de una parte de la extremidad son más propensas a interesarse en la utilización de una prótesis, que aquellas personas que nacen con esta deformación cognitiva. Por tanto, el nuevo diseño de la prótesis está enfocado en un público adulto, que sufre o ha sufrido una pérdida del miembro superior, y quieren volver a recuperar la movilidad del brazo faltante pero sin tener que invertir mucho dinero.

1.6. ESTUDIO ERGONÓMICO Y ANTROPOMÉTRICO

A continuación, se va a proceder con el estudio del usuario, pero desde dos perspectivas distintas pero que están relacionadas entre ellas. La ergonomía y la antropometría, la primera de estas dos ramas se conoce como el estudio de las propiedades y características del ser humano con el objetivo de adaptar los objetos, productos o trabajos a las capacidades o necesidades del ser. Por parte de la antropometría, se conoce como la ciencia que estudia las proporciones y dimensiones del cuerpo humano, los cuales son necesarios conocer para poder desarrollar un buen producto y que se adapte a los productos.

En el caso de este proyecto, primero se va a proceder a conocer los huesos que componen cada parte de la extremidad superior, así como también los movimientos que se realizan con cada sección de esta parte del cuerpo humano. Y posteriormente, se van a tener en cuenta aquellas dimensiones que están relacionadas con el miembro superior, y que por tanto van a ser las medidas observadas para poder realizar un diseño que se adapte al público objetivo. Además, dentro de este apartado, también se va a tener en cuenta la morfología del muñón y las dimensiones de este.[33],[34].

1.6.1. Extremidad superior

La estructura del miembro superior se constituye por brazo, antebrazo, mano y dedos. Esta parte del cuerpo articula los movimientos desde la articulación del hombro hasta las articulaciones de los dedos. Cabe destacar, que el miembro superior se descompone en tres segmentos; el brazo el cual está compuesto por un solo hueso, el húmero. En segundo lugar, el antebrazo comprendido por el cúbito y el radio. Y por último, la muñeca, la mano y las falanges. Sin embargo, en algunos libros la articulación del hombro también se considera parte de la extremidad superior.

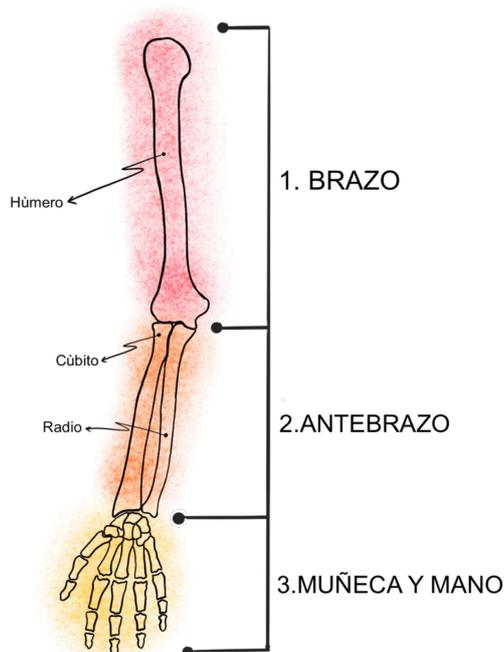


Figura 35: Estructura ósea de la extremidad superior. Elaboración propia.

El miembro superior compone una unidad anatómico-funcional, donde su principal función es que la mano pueda moverse por cualquier punto del espacio para realizar una acción determinada de la forma más óptima. Para poder satisfacer esta principal función es necesario que la extremidad superior está formada por distintos elementos que tengan un alto grado de movilidad.

1.6.1.1. Articulación del hombro o glenohumeral

En este caso, se debe mencionar que la articulación del hombro se va a considerar parte del miembro superior.

El hombro o articulación glenohumeral es considerada una articulación proximal de la extremidad superior, limitada por la parte superolateral del tórax y la parte superior del brazo, constituida por la unión de los huesos clavícula, húmero, esternón y escápula. Como características principales se puede mencionar que es una articulación que se encuentra suspendida del tronco, donde el hombro se encuentra en paralelo con el tórax. Además, está constituida por cinco articulaciones las cuales son la articulación esternoclavicular, la acromioclavicular, escapulohumeral, la subdeltoidea y la escapulotorácica. El hombro está considerado como una región expuesta y razonablemente superficial por lo que suele sufrir bastantes golpes.

Las funciones principales de esta articulación son las siguientes:

- Prensión: orientación del brazo en los distintos planos de movimiento
- Soporte: se crea una zona de apoyo, que puede soportar los esfuerzos articulares, además de posibilitar el transporte de cargas.

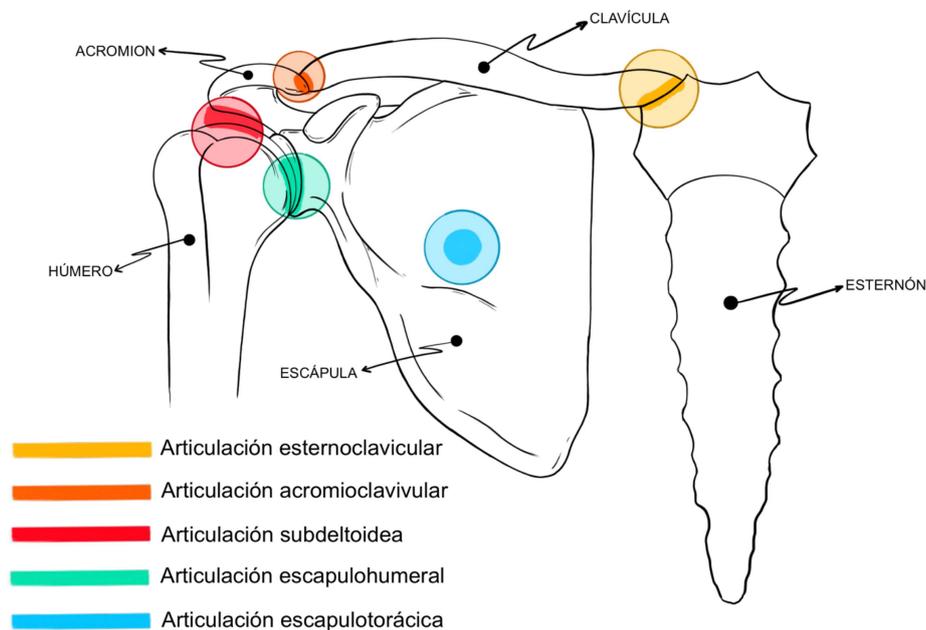


Figura 36: Estructura articular y ósea del hombro. Elaboración propia.

En cuanto a la movilidad del conjunto del hombro, todos los elementos que lo constituyen intervienen en los distintos movimientos, por tanto la acción es constantemente complementaria, proporcionando distintos tipos de movilidad, siendo la más significativa movilidad la analítica. Como mención, la movilidad funcional es la que asocia las distintas

articulaciones anteriormente nombradas no solo como un conjunto articular, si no que puede considerarse como un “músculo”.

En el caso de la movilidad analítica, está formada por 6 tipos de acciones las cuales están inscritas dentro de los tres planos de referencia los cuales son; plano frontal, plano sagital y plano horizontal. Para el análisis de los distintos movimientos, se debe tener presente que se han realizado con la técnica goniometría que hace referencia a la medición de los movimientos ejecutados por las articulaciones.

- **Flexión:** tiene lugar en el plano sagital y ocurre cuando el brazo se posiciona por delante del plano frontal. En este caso, mayoritariamente se suele considerar que el húmero es el hueso móvil con respecto a la escápula, sin embargo, también hay movimientos de flexión que se realizan con el húmero fijo y la escápula móvil. El rango de movimientos es de 60° a 120°, pero se considera un sector útil de 45° que hace referencia al movimiento frente-mano.
- **Extensión:** este movimiento se desarrolla en el plano frontal, donde el brazo se mueve hacia atrás. Al igual que en el caso anterior, se puede considerar el húmero como elemento móvil y escápula fija o viceversa. La amplitud angular de este movimiento es de 30°.
- **Abducción:** ocurre cuando el brazo se separa del cuerpo dentro del plano frontal, el húmero es el hueso móvil el cual realiza un movimiento de rodadura y deslizamiento dentro de la cavidad glenoidea. Se considera un rango de movimiento de entre 60° y 100°.
- **Aducción:** es el movimiento contrario al explicado anteriormente, donde el brazo se junta al cuerpo, y se puede realizar desde dos posiciones distintas; asociada a una flexión o asociada a una extensión. Al igual que en la abducción también se produce la rodadura y el deslizamiento pero de manera inversa al anterior. La amplitud de este movimiento no se produce de manera impecable, ya que la elevación del hombro produce un ángulo de cierre de 10°, y en el caso de extensión o flexión la amplitud es de unos 30°.
- **Rotación lateral:** se da en plano transversal cuando la cara interna del brazo se lleva hacia fuera. Este movimiento se debe definir de rodadura-deslizamiento de la cabeza del húmero y la cavidad glenoidea, el cual se puede producir de tres formas; con el codo pegado al cuerpo, en flexión y en abducción. Anatómicamente las rotaciones tienen un rango de movimientos de 135°.
- **Rotación medial:** es el mismo movimiento que se produce en el caso anterior, pero al contrario, es decir, la cara interna del brazo se desplaza hacia dentro. Se produce el mismo tipo de acción de rodadura-deslizamiento de los mismos componentes. Respecto a la amplitud angular se cubren unos 90°.

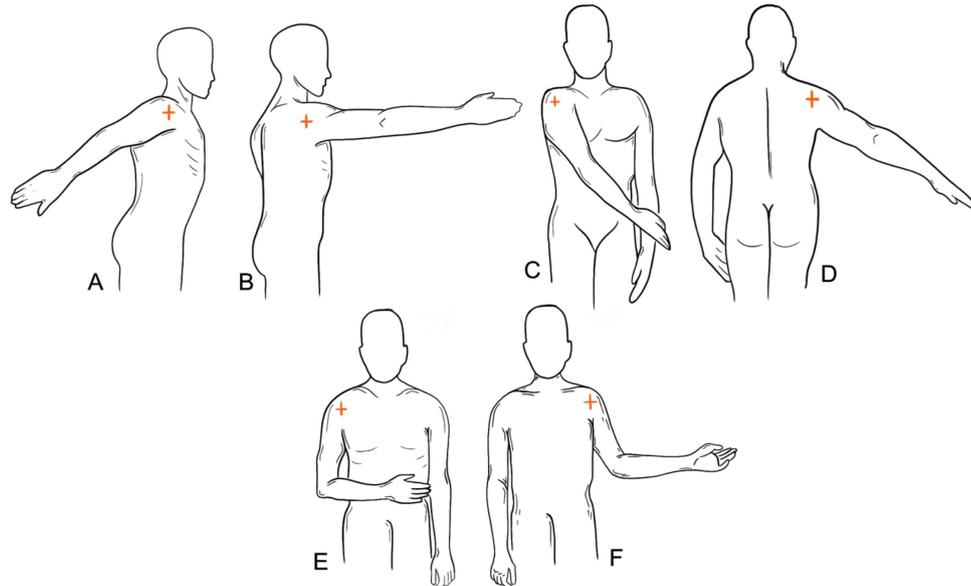


Figura 37: Movimientos pertenecientes a la articulación del hombro. A) Flexión, B) Extensión, C) Aducción, D) Abducción, E) Rotación medial y F) Rotación lateral. Elaboración propia.

1.6.1.2. Articulación del codo

El codo es la articulación que se encuentra en la mitad de la extremidad superior, la cual separa el brazo del antebrazo. A nivel ósea esta articulación está formada por tres huesos, el húmero, el radio y el cúbito, y a nivel articular está constituida por tres articulaciones dentro de una sola cavidad; articulación humerocubital, articulación humeroradial y articulación radiocubital proximal.

Las finalidades funcionales de esta parte del miembro superior son las siguientes:

- Encaje tipo bisagra
- Captaciones laterales de proximidad: ocurre cuando la flexión del codo asigna a las rotaciones del hombro donde se aseguran esas captaciones laterales. Movimiento de caza de los animales, cuando atrapan a la presa con la boca.
- Asociación de articulaciones: los distintos movimientos pueden estar asociados a otras articulaciones como son el hombro y la muñeca, dependiendo de la agrupación de las articulaciones a la hora de realizar una acción se puede dividir en fuerza si son hombro y codo o finura si son codo y muñeca.

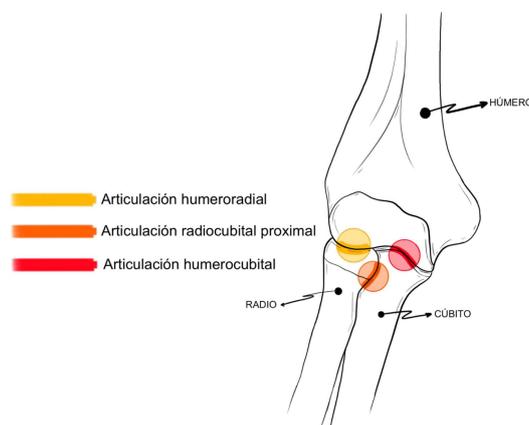


Figura 38: Articulaciones del codo. Elaboración propia.

De la misma manera que en la articulación del hombro se han explicado los movimientos que componen la movilidad analítica, el codo también posee distintos movimientos.

- **Flexión:** tiene lugar en el plano sagital, donde la cara interna del antebrazo se desplaza hasta el brazo. En este caso, se suele considerar la parte móvil el antebrazo y la parte fija el brazo. Pero en algunos casos, se pueden invertir las partes siendo la fija el antebrazo y la móvil el brazo. La amplitud angular de esta acción está entre 150° y 160° , sin embargo se considera sector útil un rango de 45° a 110° que es el movimiento mano-boca.
- **Extensión:** al igual que el caso anterior también se desarrolla en el plano sagital donde el brazo se posiciona rectilíneamente. Al ser un movimiento de alargamiento, no hay sector de extensión, por tanto en la amplitud angular es 0° , pero en algunos casos de hiperextensión se puede conseguir un rango de 5° a 10° .

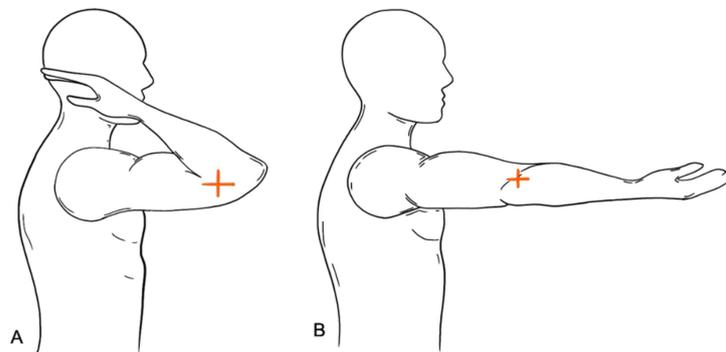


Figura 39: Movimientos del codo. A) Flexión y B) Extensión. Elaboración propia.

1.6.1.3. Articulación de la muñeca

La muñeca es un conjunto de pequeños huesos que unen el antebrazo con la mano, está compuesta por los dos huesos del antebrazo el cúbito y el radio, así como también por dos filas de carpos, también conocido como el canal carpiano que es un túnel osteofibroso. En referencia a la primera hilera del carpo se encuentran los siguientes huesos; escafoides, semilunar, piramidal y pisiformes, los cuales forman el cóndilo carpiano. Por otro lado, los huesos que pertenecen a la segunda hilera del carpo los cuales forman la articulación mediocarpiana son; trapecio, trapecoide, hueso grande y ganchoso. En cuanto al nivel articular la muñeca se descompone en tres niveles articulares; radiocubital inferior, radiocarpiana y mediocarpiana.

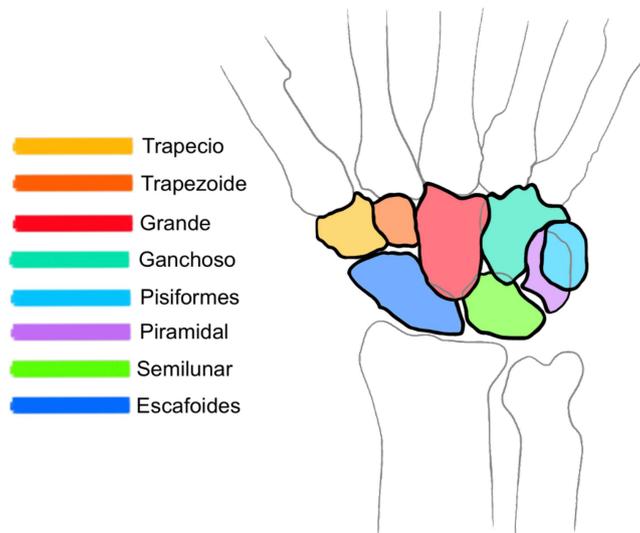


Figura 40: Estructura ósea de la muñeca. Elaboración propia.

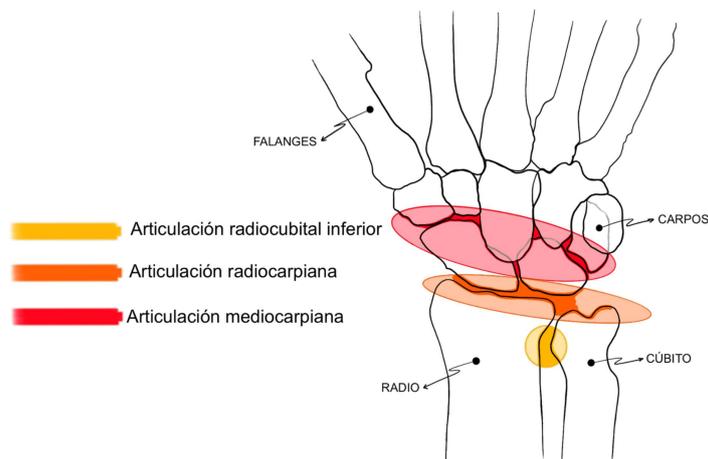


Figura 41: Estructura articular de la muñeca. Elaboración propia.

La muñeca es una región interpuesta que tiene principalmente dos finalidades funcionales, la primera de ellas que se considera la más importante es la estabilidad. Esta característica está relacionada con la mano, ya que cualquier movimiento de las falanges o de la mano sería muy dificultoso sin una muñeca estable. Y por otro lado, la movilidad ya que concede orientación tridimensional a la mano.

Relacionada con la segunda cualidad de la muñeca, se van a mencionar los distintos movimientos que son propios de la muñeca dentro del ámbito de la movilidad analítica.

- **Pronación:** esta acción ocurre dentro del plano transversal, cuando el codo se encuentra flexionado en un ángulo recto, y se produce el movimiento de giro de la palma hacia el suelo. La amplitud de este movimiento es alrededor de 80°, sin embargo el sector útil es de 30° a 40°.

- **Supinación:** al igual que en el movimiento anterior también se desarrolla en el plano transversal, donde el codo se flexiona formando un ángulo recto y la palma de la mano se voltea hacia arriba. La amplitud de esta acción es muy parecida a la anterior siendo esta un rango angular mayor de aproximadamente 85° , pero el sector útil es de 45° .
- **Flexión:** se desarrolla en el plano frontal, cuando la palma de la mano se acerca al antebrazo interno. El conjunto de las dos hileras de carpos se posicionan la primera en pronación y la segunda en supinación para poder realizar el movimiento. En cuanto a la amplitud del movimiento es de alrededor 75° , pero el sector útil de este movimiento es de 20° .
- **Extensión:** el siguiente movimiento es el antónimo del anterior, donde la parte dorsal de la mano quiere acercarse a la parte dorsal del antebrazo. Y como es el caso contrario a la flexión, la primera hilera de carpos se posiciona en supinación y la segunda en pronación. Y la amplitud de movimiento suele ser de 75° , pero también existe un sector útil que limita el ángulo a aproximadamente 40° .
- **Abducción (inclinación radial):** se produce cuando el eje de la muñeca está paralelo con el plano sagital del cuerpo y este se acerca hacia el interior. En la morfología de la muñeca, al realizar este movimiento, los huesos que la componen realizan dos movimientos a la vez, la primera hilera de carpos realiza una pronación-flexión. Y la segunda hilera de carpo una supinación-extensión. En el caso de la amplitud, este movimiento tiene un máximo de 15° aproximadamente.
- **Aducción (inclinación cubital):** la siguiente acción es la contraria de la explicada anteriormente, se desarrolla cuando el plano paralelo de la muñeca con el cuerpo se desplaza hacia el exterior del cuerpo. En este caso, el movimiento que realizan las dos hileras de huesos de la muñeca son al contrario que el caso anterior, la primera hilera lleva a cabo un movimiento de supinación-extensión y la segunda de pronación-flexión. La amplitud angular en este movimiento es mucho mayor, ya que se desarrolla en un rango de 35° a 45° .

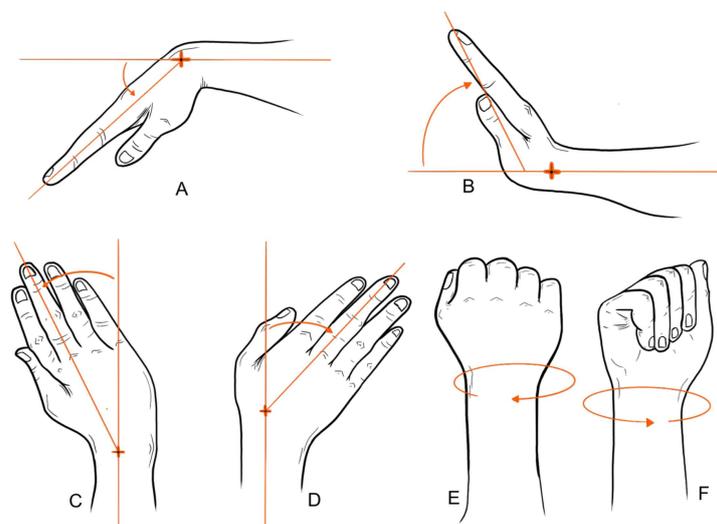


Figura 42: Movimientos de la muñeca. A) Flexión, B) Extensión, C) Abducción, D) Aducción, E) Pronación y F) Supinación. Elaboración propia.

1.6.1.4. Articulación de las falanges

En lo que respecta a los dedos no se puede hablar de estos sin hacer especial mención a la mano, ya que es la unión de todos ellos en un mismo conjunto. La mano es la última parte de la extremidad superior, la cual está compuesta por 19 huesos que dan forma a los dedos y son los siguientes; metacarpianos, falanges proximales, falanges medias, y falanges distales. A nivel articular, estos distintos huesos se unen formando 4 pequeñas articulaciones que son; carpometacarpianas, metacarpofalángicas, interfalángicas proximales y interfalángica distal.

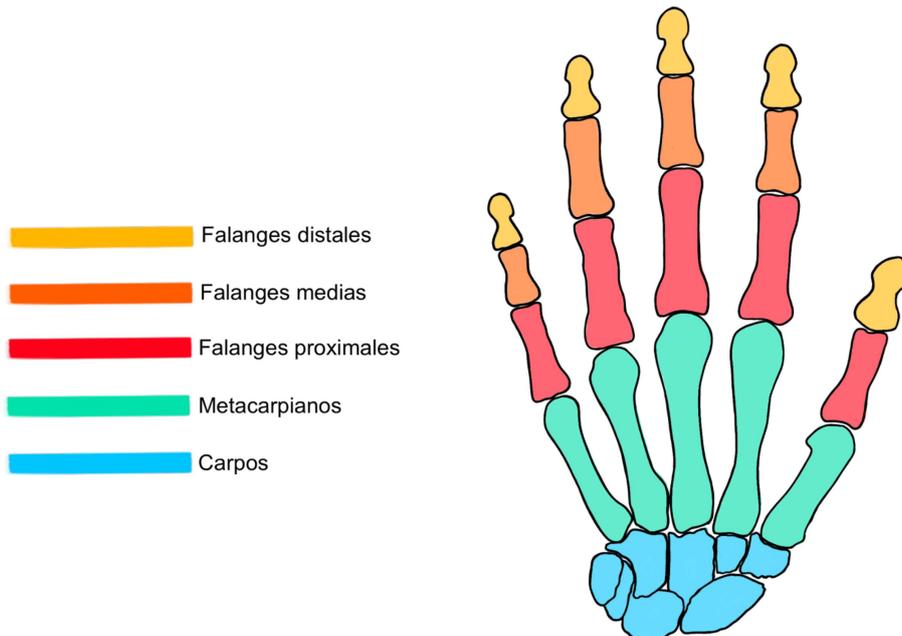


Figura 43: Estructura ósea de las falanges.

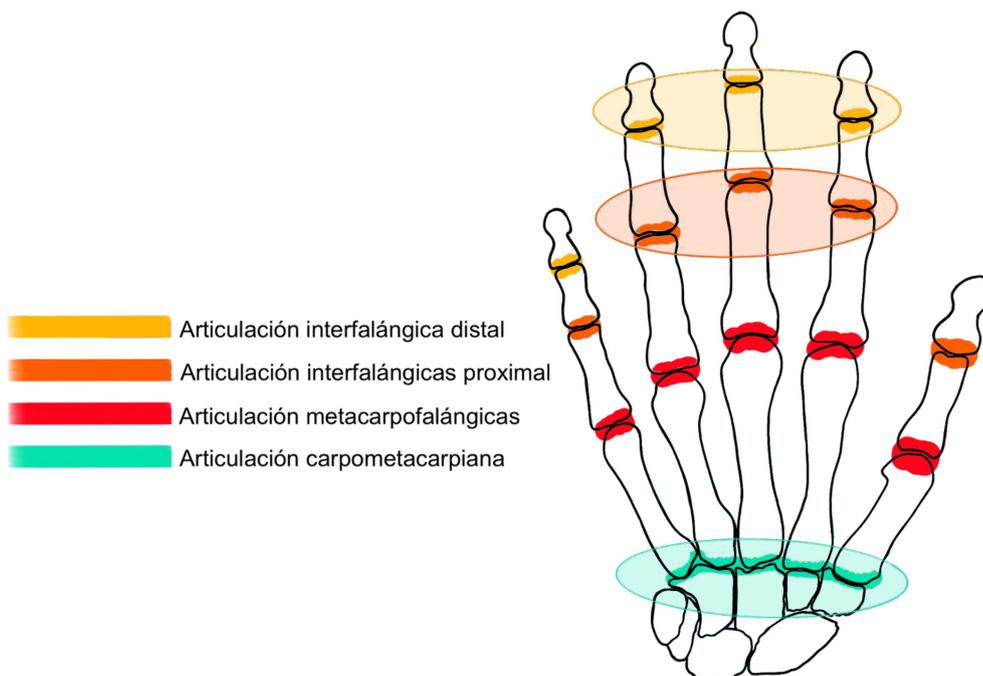


Figura 44: Estructura articulada de las falanges

Siguiendo con la morfología de la mano está satisface tres funcionalidades las cuales corresponden a funciones motrices como son la prensión, los apoyos y los golpes. La primera de las funciones tiene otros conceptos relacionados como son la fuerza, la finura y la precisión ya que la prensión es la capacidad del agarre. Por consiguiente, los apoyos son contactos estáticos donde la labor principal es la estabilidad corporal a la hora de realizar una acción. Y por último, los golpes que hacen referencia a los contactos dinámicos donde la mano puede posicionarse en distintas posturas ya sea en forma de puño o la mano abierta.

A continuación, se van a mencionar los movimientos que se pueden realizar con los dedos, los cuales están dentro del sector de la movilidad analítica.

- **Flexión:** teniendo en cuenta que el dedo se divide en tres huesos, la flexión se puede realizar en cada una de las uniones de estos. Por este motivo, el movimiento de flexión se puede repetir tres veces en el mismo dedo. En cuanto a la amplitud angular, cabe mencionar que cada falange tiene su rango angular, pero la flexión empieza en un ángulo de 90° y puede llegar hasta aproximadamente 100° .
- **Extensión:** en el caso de este movimiento, la extensión es más complicada que se lleva a cabo en cada una de los distintos falanges que componen un dedo. La amplitud angular, también se divide por las distintas falanges, pero los valores son mucho más pequeños que los anteriores, obteniendo un rango de 20° a 40° .
- **Rotación:** esta acción está relacionada con la flexión, ya que la falange proximal se flexiona para poder proporcionar el movimiento de giro. La circunferencia angular que se puede llegar a realizar con esta actividad es de 20° a 30° .
- **Abducción y aducción:** estos dos movimientos solo existen cuando la falange se encuentra en una posición de extensión, y estos se desplazan de izquierda a derecha respecto del eje central de la falange. La amplitud angular de este movimiento tiene un rango de 20° a 30° .

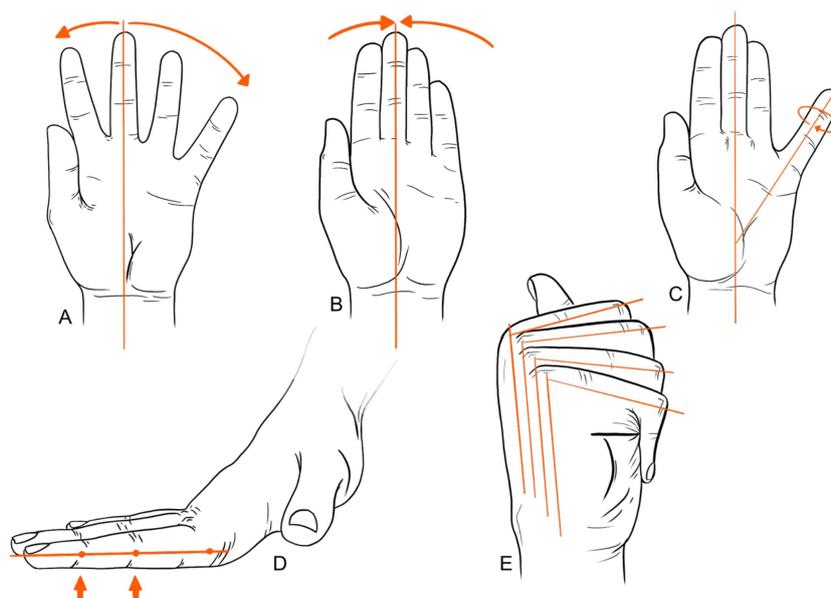


Figura 45: Movimientos de las falanges. A) Abducción, B) Aducción, C) Rotación, D) Extensión y E) Flexión. Elaboración propia.

1.6.2. Medidas antropométricas de la extremidad superior

Como bien se ha mencionado en la introducción del punto 1.6, las dimensiones de las partes que se han explicado y analizado con anterioridad tienen unas medidas las cuales deben ser estudiadas para poder desarrollar un diseño de la prótesis que se adapte de manera adecuada al público objetivo.

En primer lugar, se debe tener en cuenta que a la hora de seleccionar una medida está viene dada por separación entre sexos y también dividida en percentiles. Un percentil, se define como el porcentaje de personas de una misma población que tienen una misma dimensión corporal o menor a un determinado valor. Otro aspecto importante, es que los datos antropométricos están clasificados por edades y países, ya que dependiendo de a qué país se destine el producto, algunas medidas pueden verse modificadas. De este modo, en este caso el diseño de la prótesis está enfocado para la población española, y más concretamente a las personas adultas. Por ello los datos antropométricos que se van a analizar van a ser correspondientes a los individuos entre 18 y 65 años.

A continuación, una vez se tienen claras las características de los usuarios del producto que se va a desarrollar, se procede a clasificar las medidas que están relacionadas con el nuevo producto y con la posterior utilización de este. Por tanto, las dimensiones que se van a escoger de entre todas las que se pueden encontrar dentro del estudio de Margarita Vergara y Maria Jesus Agost, van a ser las relacionadas con el miembro superior.

En la siguiente tabla, se recopilan todos los datos antropométricos que pertenecen a las dimensiones de la población española, y donde se pueden encontrar los percentiles, 5,50 y 95. Y con los siguientes datos se selecciona cual es la medida y el percentil que mejor se puede ajustar al diseño. [34]

Tabla 4: Medidas antropométricas correspondientes a la población laboral española, de la tabla de Margarita Vergara y Maria Jesus Agost.

DESCRIPCIÓN MEDIDAS	HOMBRES (mm)				MUJERES (mm)			
	P5	P50	P95	DESVIACIÓN	P5	P50	P95	DESVIACIÓN
Longitud hombro codo	340	372	405	20	312	341	370	18
Longitud codo-muñeca	259	285	311	15,6	233	256	280	14
Anchura de codo	65	72	79	4	58	64	70	4
Longitud de la mano	170	188	205	11	159	175	191	10
Longitud perpendicular de la palma de	98	108	119	6	90	99	108	5

la mano								
Anchura de la mano en los nudillos	78	86	95	5	70	77	84	4
Longitud del dedo índice	66	75	84	6	62	69	76	4
Anchura proximal del dedo índice	18	21	23	1	16	18	20	1
Anchura distal del dedo índice	16	18	20	1	13	15	17	1
Longitud hombro-agarre	595	655	715	36,6	555	608	660	32
Longitud codo-agarre	326	361	397	22	290	325	360	21,1
Longitud codo-punta de los dedos	434	472	510	23	395	430	466	21,5
Perímetro de la muñeca	158	182	207	14,8	145	168	191	13,9

1.6.3. Tipos de amputación del miembro superior.

Al realizar el diseño de una prótesis, es importante conocer el tipo de amputación que el paciente posee para poder diseñar y aconsejar al paciente adecuadamente.

El procedimiento de una amputación es prolongado, ya que no solo existe el factor de la enfermedad, los traumatismos, las infecciones o las deformaciones congénitas. Existen otros agentes que se deben tener en cuenta como, el tejido del paciente, la capacidad de mantener la circulación, y tener una cobertura muscular adecuada ya que esta puede ayudar a prevenir la osteoporosis. Así como también, la cantidad y la calidad del hueso, nervio, músculo y piel son de vital importancia a la hora de realizar este tipo de cirugías.

Antes de proceder a explicar las distintas partes del cuerpo por donde se puede realizar una amputación de miembro superior, es importante saber que para cada paciente existe un nivel de amputación distinto, ya que este se suele determinar antes de la cirugía. Además, el concepto de nivel de amputación va precedido por distintas causas, explicadas con anterioridad, que determinan el tipo de amputación que se va a realizar. [35],[36].

Tabla 5: Clasificación anatómica de amputaciones de Oxford.

CLASIFICACIÓN ANATÓMICA DE AMPUTACIONES DE OXFORD	
Desarticulación de hombro	La amputación se realiza a la altura de la articulación del hombro, por tanto no queda ningún tipo de resto por parte del brazo.
H: Segmento humeral	
H1 Tercio superior del húmero	En este caso se tiene la misma cirugía, pero lo que cambia es el nivel de amputación, es decir, la longitud restante que va a quedar del brazo conocido como muñón.
H2 Tercio medio del húmero	
H3 Tercio inferior del húmero	
Desarticulación de codo	Se mantiene la totalidad de la parte del brazo, y el corte se realiza a la altura del codo.
R: Segmento radial	
R1 Tercio superior del radio	Se refiere a la misma zona de amputación, pero de la misma manera que pasa en el caso anterior, la longitud del muñón se ve afectada por el corte realizado.
R2 Tercio medio del radio	
R3 Tercio inferior del radio	
Desarticulación de muñeca	Se realiza un corte a la altura de la muñeca, quedando la mano inutilizada, es decir, se amputa la mano.
Amputación de dedo o mano:	En el caso de la amputación de mano, esta es extraída en su totalidad hasta la muñeca. Y por parte de la amputación de dedos, también hay distintos niveles según el daño sufrido.

Tras haber pasado por una amputación, la mayoría de los pacientes suelen manifestar molestias en la zona amputada, esto se debe al síndrome de miembro fantasma. Este síndrome está catalogado como una molestia neuropática la cual suele producirse en el sistema nervioso. Está relacionado con una serie de sensaciones que se manifiestan en forma de dolor y picor principalmente, pero hay testimonios en los que algunas personas han llegado a sentir calor en la zona ausente del miembro.

Este síndrome está basado en la insistencia de las áreas cerebrales responsables del miembro faltante, que al no recibir ninguna respuesta de este generan una sensación de descarga esporádica siendo esta muy dolorosa. [38]

De este problema se encuentran algunas declaraciones de pacientes que han pasado por el proceso de una amputación como es el caso de Joan el cual expone el domingo 9 de febrero de 2020: "Son las 2.55 del domingo 9/2/20. Estoy despierto a esta hora por culpa del miembro fantasma. Me amputaron la pierna izquierda por encima de la rodilla en septiembre del 2000 y todavía después de casi 20 años, de vez en cuando, me sacuden esta especie de calambres. Puede que llevara 4 o 5 meses desde la última vez que se me apareció." <https://www.quironsalud.es/blogs/es/doloralia/sindrome-miembro-fantasma#:~:text=Se%20denomina%20S%C3%ADndrome%20de%20miembro,tercios%20de%20las%20personas%20amputadas.>

1.6.4. Morfología del muñón

El muñón es la parte restante que queda después de pasar por una cirugía de amputación, y se puede clasificar como un órgano nuevo que ha sido diseñado dentro de un quirófano y que por tanto como nuevo miembro superior necesita unas necesidades especiales. Ciertamente, que después de la intervención, el muñón puede sufrir cambios morfológicos a lo largo de los próximos 6 a 18 meses. De este modo, la idea de llevar prótesis es un proceso el cual requiere un tiempo prolongado para su adaptación.

Como se ha mencionado con anterioridad, el nuevo miembro requiere unas características concretas como es el tema del vendaje el cual es necesario para sanar y evitar ciertos riesgos. El vendaje reduce el edema, así como también evita deformaciones, previene dolores y estimula el metabolismo. Los expertos recomiendan vendas elásticas durante los primeros meses y después los pacientes suelen usar una funda elástica para proteger el muñón ya que suele sufrir lesiones en la piel.[37]

Las características que suele tener un muñón son las siguientes:

- Forma suavemente cónica.
- No doloroso.
- Cicatriz correcta y en el lugar adecuado.
- Extremidades óseas con buen recubrimiento de tejido.
- Revestimiento cutáneo bien nutrido, con la piel ni demasiado tensa ni demasiado laxa.
- Movilidad suficiente y fuerza de palanca.
- Conservar los arcos de movilidad de la extremidad proximal.
- Buena irrigación sanguínea.
- Utilización del muñón para mover la prótesis.

En cuanto al cuidado del muñón también existen una serie de indicaciones que deben cumplirse para no provocar heridas en la zona de la cirugía.

- Lavar cada día el muñón con agua templada y jabón con un pH neutro.
- El vendaje se tiene que cambiar cada 4-6 horas, y en el cambio dejar 15 minutos el muñón al aire para su reposo.
- El vendaje no puede estar en contacto con el muñón más de 12 horas seguidas.
- No se deben usar productos cosméticos como cremas o lociones entre la prótesis y el muñón.
- No se puede dormir con la prótesis.
- El muñón tiene que llevar vendaje hasta un año después de llevar la prótesis definitiva, tanto para dormir.

1.6.4.1. Medidas antropométricas del muñón

Como se ha mencionado en el apartado anterior, el muñón es como un nuevo órgano para el cuerpo por tanto la morfología y las dimensiones han variado. Por tanto, las medidas son distintas en cada paciente ya que este nuevo miembro puede sufrir cambios después de la cirugía, y necesita unas necesidades especiales. Sin embargo no hay ninguna tabla antropométrica que recopile las medidas de estos nuevos miembros, por tanto no hay promedios de medidas, pero si se tiene una dimensión aproximada sobre la longitud que debe tener un muñón para poder hacer uso de una prótesis.

La prótesis que se va a diseñar está relacionada con la amputación transhumeral, y teniendo en cuenta que hay tres niveles para ese tipo de amputación y la longitud del miembro restante varía. Pero los expertos estiman que para poder llevar una prótesis sin ninguna dificultad, la longitud del muñón debe ser de alrededor de 20 cm desde el acromion. Este aspecto no significa que aquellas personas que tengan un muñón inferior a 20 cm no puedan hacer uso de estos dispositivos, si no, que suele ser más dificultoso.



Figura 46: Morfología de un muñón de extremidad superior. [87]

1.7. REQUISITOS DE DISEÑO

1.7.1. Descripciones de las necesidades / p.c.i.

El nuevo diseño de la prótesis está dirigido a aquellas personas que por diversas razones han sufrido una amputación transhumeral del brazo o simplemente tienen esta anomalía desde el nacimiento. Además, también es importante que las personas que padecen este tipo de irregularidad estén dispuestas a pasar por el proceso de protetización, que mayoritariamente suelen ser aquellos pacientes que han tenido que someterse a una cirugía.

Es importante tener en cuenta que a la hora de diseñar la prótesis esta debe intentar satisfacer tres objetivos;

- Ser funcional: debe incrementar o restituir la capacidad funcional que se ha perdido
- Ser estética: debe intentar recomponer la apariencia física
- Ser psicológica: debe servir para recobrar la percepción interna y externa de la imagen corporal.

En base a la recopilación de la información también se han podido extraer otros datos a tener en cuenta para poder realizar un buen producto. Ciertamente es que no se ha podido realizar un estudio del mercado ya que las prótesis son objetos personalizados y adaptados a cada paciente. Sin embargo, al saber los tipos de prótesis, los materiales y las partes que debe tener, se puede realizar un pequeño resumen de aquello que es más relevante para la fabricación del producto. Así como también la exposición de las características requeridas para el diseño que son las siguientes;

- Debe pesar poco. Los materiales que se utilicen para su fabricación deben ser lo más ligeros para reducir la carga que tenga que soportar el muñón. Así como también los más afectuosos con el medioambiente
- Atractivo. El producto debe llamar la atención.
- Máxima durabilidad
- Evitar componentes que puedan perjudicar al paciente. Evitar atrapamientos, zonas cortantes o puntiagudas.
- Concordancia entre el precio y la calidad. Poder ofrecer un producto barato para todo el público objetivo pero con un mínimo de excelencia.
- Diseño para ambos sexos. Que se pueda personalizar al gusto de los usuarios.
- Fácil de limpiar. El acabado superficial debe ser el idóneo para facilitar la tarea.
- Dimensiones adecuadas. El producto debe ser ergonómico para que todos los usuarios puedan hacer uso de él.
- Fácil de montar. El usuario debe ser capaz de montar la prótesis él solo sin ayuda externa.
- Seguro. El producto debe satisfacer y cumplir la normativa vigente.

Después de los puntos más destacados de la recopilación de información, la prótesis favorece a la aparición de algunas necesidades que el producto debe satisfacer.

- Funcional
- Estética
- Atractivo a la venta
- Material reciclable
- Ligero

- Ergonómico
- Ajustable
- Fácil de limpiar
- Acabado idóneo
- Dimensiones ajustadas
- Para ambos sexos
- Mínimos componentes
- Resistente
- Seguro

Cuando se realiza el diseño de una prótesis, la tarea más dificultosa es conseguir que el producto sea estético a la vez que funcional, ya que en ocasiones los componentes que proporcionan movilidad son grandes o hay muchas piezas y ocultarlas puede llegar a encarecer la prótesis.

1.7.2. Funciones del producto / Pliego de condiciones funcional

FUNCIONES DEL PRODUCTO

Con el previo análisis de la información, del cual se han obtenido una serie de indicaciones las cuales se han mencionado en el apartado anterior, a continuación se van a citar las funciones de uso del producto a desarrollar.

FUNCIONES PRINCIPALES DE USO

Respecto que en la descripción de las necesidades se han definido tres objetivos que la prótesis debe intentar cumplir, las funciones a destacar son;

- Restaurar la funcionalidad del miembro superior que se ha perdido como la propiedad más importante.
- Diseño apropiado para poder reparar la apariencia física, así como la psicológica.
- El producto sea seguro y ergonómico para el paciente.

FUNCIONES COMPLEMENTARIAS DE USO

En este apartado se deben tener presentes aquellas acciones que son derivadas del uso, es decir, aquellas funciones que están relacionadas con el manejo del objeto y el entorno en el que se va a desarrollar. Además, estas funciones pueden obtenerse de productos similares o por las solicitudes específicas de cada paciente.

FUNCIONES DERIVADAS DEL USO

- La reciclabilidad del objeto no debe ser dificultosa. Posibilidad de ofrecer una segunda vida a los elementos de la prótesis.
- La limpieza debe ser una tarea fácil de realizar por la simplicidad de las partes que forman el producto.
- La prótesis no debe ser pesada ya que al tener que llevarla durante varias horas no puede ser una carga muy alta, por tanto, el producto debe ser lo más ligero posible.
- Fácil manipulación. La prótesis debe ser lo más sencilla posible para que el paciente pueda acoplarsela al muñón sin ayuda externa.

FUNCIONES DE PRODUCTOS ANÁLOGOS

Debido a que las prótesis son productos los cuales se diseñan y se fabrican para un paciente en particular, ya que se suelen adaptar todos los componentes a las necesidades del usuario. De este modo, no se encuentran muchos productos análogos los cuales puedan adaptarse a las prótesis, y en el caso que existan algunos deben modificarse o tienen un coste muy elevado.

FUNCIONES RESTRICTIVAS

El siguiente apartado está compuesto por las funciones de seguridad, las funciones derivadas de impactos negativos, así como también las funciones que están relacionadas con la fabricación, el uso, la comercialización y el mantenimiento.

FUNCIONES DE SEGURIDAD DE USO

La seguridad de uso hace referencia a la normativa nombrada en el apartado 1.3 que se debe cumplir a la hora de realizar el diseño y la fabricación de la prótesis.

FUNCIONES DE GARANTÍA DE USO

- **Durabilidad o vida útil del producto**: se pretende que el producto tenga una vida útil de mínimo 10 años, gracias al material de fabricación y su fácil cuidado y mantenimiento.
- **Fiabilidad**: se estima que con el correcto uso de todas las piezas y componentes estas no sufran ninguna rotura o deformación hasta pasada la vida útil del producto.
- **Uso tras un periodo de descanso**: no se debe esperar que las piezas tengan ningún error después de un tiempo sin utilizar el producto.

FUNCIONES REDUCTORAS DE IMPACTO NEGATIVO

- **Acciones del medio sobre el producto**: los materiales que componen la prótesis deben soportar los infortunios atmosféricos, así como también los productos de limpieza de los que se hagan uso.
- **Acciones del producto hacia el medio**: los componentes del producto deben ser en su gran mayoría reciclables para no provocar desechos sobre la superficie terrestre.
- **Acciones del producto sobre el usuario (aspecto ergonómico)**: el diseño debe ser fácil de ajustar y colocar al paciente, tanto con apoyo externo o sin él. Además debe ser cómodo para el usuario. Por otra parte, la prótesis debe aportar una estabilidad visual y física al paciente.
- **Acciones del usuario en el producto**: los materiales deben ser lo suficientemente resistentes para soportar el desgaste provocado por el uso del usuario.

FUNCIONES INDUSTRIALES Y COMERCIALES

- **Fabricación**: para este paso es importante tener presente el orden de montaje de todos los componentes, así como también el tiempo de utilización de la maquinaria el cual debería ser mínimo.
- **Ensamblaje**: optimización de los movimientos a la hora de unir las piezas, teniendo en cuenta los criterios dfA y los criterios dfE, diseño para el Medio Ambiente. De los primeros criterios resaltan los materiales, la eficiencia de unión, el tipo de proceso y la simplicidad.

- **Envase:** debe ser adecuado para todo el conjunto de la prótesis, todos los componentes tendrán su propio espacio dentro del mismo envase.
- **Embalaje:** debe ser apropiado para el posterior transporte de todo el producto, el cual se efectuará con las dimensiones de un palet europeo de 600x800 mm.
- **Almacenaje:** se debe tener presente una mayor o menos agrupación y apilamiento de los embalajes para formar un palet.
- **Transporte:** se debe considerar la capacidad y el volumen del contenedor para poder realizar un apilamiento de palets europeos.
- **Exposición:** el producto estará expuesto en el punto de venta, donde se podrá encontrar montado o por piezas, en el caso de que un usuario necesite un recambio o desee personalizar la prótesis.
- **Desembalaje:** en el propio envase estará indicada la posición en la que tiene que ir cada pieza, y además en ese paso también se tienen importancia los materiales y la manipulabilidad de este proceso.
- **Montaje por el usuario:** las uniones entre las piezas se encontrarán dentro del envase de todo el producto, y se espera que sea un montaje sencillo sin la utilización de herramientas.
- **Mantenimiento:** los materiales que componen las piezas deben soportar los productos de limpieza.
- **Reparación:** al ser un producto compuesto por distintos componentes, se puede reemplazar cada pieza individualmente.
- **Retirada:** la función más importante de este paso es la reciclabilidad del producto, por tanto los materiales utilizados deben poder reciclarse o reutilizarse. Para este proceso es importante tener en cuenta los criterios de diseño para el medio ambiente donde se pueden destacar los siguientes; minimizar la variedad de materiales, usar elementos de sujeción fáciles de separar, marcar los componentes plásticos entre otros.

FUNCIONES ESTÉTICAS

Al ser un producto el cual está dirigido a un público objetivo, este debe tener algunas funciones relacionadas con el comportamiento humano.

FUNCIONES EMOCIONALES

- La prótesis debe provocar una sensación de ligereza y comodidad.
- El producto debe transmitir la percepción de movimiento.

FUNCIONES SIMBÓLICAS

- El producto debe representar que está diseñado para ambos sexos
- La prótesis está orientada a aquellas personas que han sufrido una pérdida de miembro superior.

Tabla 6: Pliego de condiciones iniciales

PLIEGO DE CONDICIONES FUNCIONALES						
FUNCIONES	CARACTERÍSTICAS DE LAS FUNCIONES					
Nº ORDEN	DESIGNACIÓN	CRITERIO	NIVEL	FLEXIBILIDAD		VI
				RESTRICCIÓN	F	
1.1 FUNCIONES PRINCIPALES DE USO						
1.1.1	Restaurar la funcionalidad					
1.1.2	Diseño adecuado	Aspecto				
1.1.3	Seguro y ergonómico					
1.2 FUNCIONES COMPLEMENTARIAS DE USO						
1.2.1 FUNCIONES DERIVADAS DEL USO						
1.2.1.1	Reciclabilidad	Materiales				
1.2.1.2	Fácil de limpiar	Forma				
1.2.1.3	Ser ligera	Peso, volumen	kg, m3			
1.2.1.4	Fácil manipulación	Accesibilidad				
1.2.2 FUNCIONES DE PRODUCTOS ANÁLOGOS						
1.2.2.1	Económico					
1.2.2.2	Personalización	Acabado				
1.3 FUNCIONES RESTRICTIVAS o EXIGENCIAS DE USO						
1.3.1 FUNCIONES DE SEGURIDAD DE USO						
1.3.1.1	Cumplir normativa	Normas / Legislación				
1.3.2 FUNCIONES GARANTÍA DE USO						
1.3.2.1	Durabilidad / Vida útil	Tiempo	Años	10 años		
1.3.2.2	Fiabilidad	TMFA				
1.3.2.3	Uso tras periodo	Tiempo	Horas,			

	de tiempo		meses, años			
1.3.3 FUNCIONES REDUCTORAS DE IMPACTOS NEGATIVOS						
1.3.3.1	Acciones del medio sobre el producto					
1.3.3.1.1	Resistir climas exteriores	Materiales / Aspecto				
1.3.3.1.2	Resistir productos de limpieza	Materiales / Aspecto				
1.3.3.2	Acciones del producto hacia el medio					
1.3.3.2.1	Reciclabilidad de los componentes	Materiales / Ecología				
1.3.3.3	Acciones del producto sobre el usuario (aspecto ergonómico)					
1.3.3.3.1	Fácil de ajustar y colocar	Ergonomía				
1.3.3.3.2	Estabilidad física y psicológica	Aspecto				
1.3.3.4	Acciones del usuario en el producto					
1.3.3.4	Soportar el desgaste por uso					
1.3.4 FUNCIONES INDUSTRIALES Y COMERCIALES						
1.3.4.1	Fabricación					
1.3.4.1.1	Orden de montaje	Simplificación				
1.3.4.1.2	Utilización mínima de herramientas	Simplificación				
1.3.4.2	Ensamblaje					
1.3.4.2.1	Optimización de movimientos	dfA				
1.3.4.3	Envase					
1.3.4.3.1	El conjunto del producto en un mismo envase					
1.3.4.4	Embalaje					

1.3.4.4.1	Adecuado para el transporte (palet europeo)	Dimensiones				
1.3.4.5	Almacenaje					
1.3.4.5.1	Apilamiento	Unidades				
1.3.4.6	Transporte					
1.3.4.6.1	Apilamiento de palets europeo dentro de contenedor	Unidades / Volumen				
1.3.4.7	Exposición					
1.3.4.7.1	Producto expuesto en punto de venta					
1.3.4.7.2	Recambios y personalización de piezas	Unidades				
1.3.4.8	Desembalaje					
1.3.4.8.1	Materiales					
1.3.4.8.2	Manipulabilidad sencilla					
1.3.4.9	Montaje por el usuario					
1.3.4.9.1	No hay uso de herramientas	Simplicidad				
1.3.4.10	Mantenimiento					
1.3.4.10.1	Resistencia a productos de limpieza	Materiales / Acabado				
1.3.4.11	Reparación					
1.3.4.11.1	Recambios de piezas	Unidades				
1.3.4.12	Retirada					
1.3.4.12.1	Reciclabilidad	dfE				
2.1 FUNCIONES ESTÉTICAS						
2.1.1 FUNCIONES EMOCIONALES						

2.1.1.1	Ligereza y comodidad	Aspecto				
2.1.1.2	Percepción de movimiento	Aspecto				
2.1.2 FUNCIONES SIMBÓLICAS						
2.1.2.1	Ambos sexos	Color				
2.1.2.2	Público adulto que haya perdido un miembro superior					

1.7.3. Valoración de las funciones, valoración entre las funciones y tablas de valoración de funciones

Después de la descripción de las necesidades y de obtener los factores que se van a tener en cuenta a la hora de diseñar el producto, estos se van a relacionar con un valor de importancia el cual se les va a asignar con una matriz de dominación para posteriormente poder realizar un VTP para seleccionar el diseño elegido.

Las propiedades a tener en cuenta para realizar un buen diseño son las siguientes:

- Funcional
- Estética
- Atractivo a la venta
- Material reciclable
- Ligero
- Ergonómico
- Fácil de limpiar
- Acabado idóneo
- Dimensiones ajustadas
- Para ambos sexos
- Mínimos elementos
- Resistente
- Seguro

Matriz de dominación de los factores de diseño a considerar:

En la matriz dominación se deben evaluar los factores entre ellos para saber la relación que tienen los unos con los otros.

La diagonal de la tabla siempre es 1. Para la valoración entre estas características, en este caso se realiza con tres números; 0 (no tienen relación), 0,5 (tienen poca relación), 1 (tienen mucha relación).

Posteriormente se deben sumar todos los valores y se obtiene un total, el cual luego se hará uso de este.

Tabla 7: Matriz dominación de las funciones descritas.

	Funcional	Estética	Atractivo a la venta	Material reciclable	Ligero	Ergonómico	Fácil de limpiar	Acabado	Dimensiones ajustables	Ambos sexos	Mínimos Elementos	Resistente	Seguro	Total
Funcional	1	0,5	0,5	1	0,5	1	0	0	0,5	0	1	0,5	1	7,5
Estética	0,5	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0	1	0,5	0	0	7
Atractivo a la venta	0,5	1	1	0,5	0	0,5	0,5	0,5	0	1	0,5	0	0	6
Material reciclable	1	0,5	0,5	1	1	0,5	0	0,5	0	0	0	0,5	0	5,5
Ligero	0,5	0,5	0	1	1	0,5	0	0	0	0	1	0,5	0,5	5,5
Ergonómico	1	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0	0	1	0,5	0,5	0	0,5	6,5
Fácil de limpiar	0	0,5	0,5	0	0	0	1	0,5	0	0	0,5	0	0	3
Acabado	0	1	0,5	0,5	0	0	0,5	1	0	0,5	0,5	0	0	4,5
Dimensiones ajustables	0,5	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0,5	0	0,5	4,5
Ambos sexos	0	1	1	0	0	0,5	0	0,5	1	1	0	0	0	5
Mínimos elementos	1	0,5	0,5	0	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0	1	0,5	0,5	7
Resistente	0,5	0	0	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0,5	1	1	4
Seguro	1	0	0	0,5	0,5	0,5	0	0	0,5	0	0,5	1	1	5,5

El resultado total de la matriz dominación es la importancia que tiene cada factor dentro del diseño de la prótesis, por tanto el valor más alto de los resultados finales es el factor/necesidad más importante de la prótesis.

Y como se ha comentado en el apartado 1.7.1 la tarea más complicada a la hora de diseñar una prótesis es la combinación de la parte funcional y estética a la vez, pero como se ha podido observar en la matriz dominación son las dos necesidades más relevantes en el diseño de este producto.

En la siguiente tabla se observa de manera más clara la importancia de cada factor;

Tabla 8: Valoración de las funciones de la prótesis.

FACTORES/NECESIDADES	IMPORTANCIA
Funcional	7,5
Estética	7
Atractivo a la venta	6
Material reciclable	5,5
Ligero	5,5
Ergonómico	6,5
Fácil de limpiar	3
Acabado	4,5
Dimensiones ajustables	4,5
Ambos sexos	5
Mínimos elementos	7
Resistente	4
Seguro	5,5

1.8. PROCESO DE FABRICACIÓN

El proceso de fabricación que se ha pensado para este producto es la impresión 3D y más concretamente, la tecnología FFF (Fused Filament Fabrication). Se trata de un proceso de fabricación aditivo el cual consiste en la creación de objetos tridimensionales por medio de la deposición de capas de material fundido, el cual suele ser plástico.

Para conocer más detalladamente este tipo de fabricación se van a exponer las ventajas e inconvenientes que puede presentar este tipo de proceso.

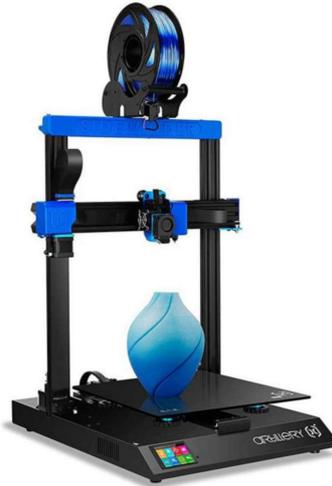


Figura 47: Máquina de impresión 3D. [88]

● VENTAJAS

- **Adaptación y personalización:** se pueden diseñar y fabricar productos personalizables y a medida, como por ejemplo en el ámbito de la sanidad. Asimismo, se pueden crear piezas con un alto grado de complejidad por su gran capacidad de adaptación.
- **Eficiencia y rentabilidad:** es un proceso de fabricación medianamente rápido y barato respecto a los procedimientos tradicionales, sobre todo si se trata de un solo objeto.
- **Beneficios medioambientales:** es cierto que se suelen utilizar materiales plásticos, sin embargo estos son reciclables, y algunos son biodegradables y compostables como es el caso del PLA. Además no se produce el desperdicio de material porque se imprime la cantidad exacta que el objeto necesita.

Estas características son beneficiosas ya que permiten realizar prototipos de forma rápida y sencilla, sin desperdiciar material y a un coste bajo. Además, como el diseño de la prótesis se encuentra en un modelo 3D, este se puede editar todas las veces que sea necesario así como también su producción ya que el tiempo de fabricación es relativamente corto.

Al igual que los procesos de fabricación clásicos, la tecnología de impresión 3D también presenta algunos inconvenientes como los mencionados a continuación.

- **DESVENTAJAS**

- **Limitaciones de tamaño:** hay muchos tipos de impresoras y muchas de ellas están limitadas por el tamaño de impresión, por ende si se quiere fabricar una pieza muy grande cabe la posibilidad de no poder realizarla a escala real.
- **Calidad y resistencia:** estos dos aspectos pueden afectar a los objetos dependiendo del tipo de material, la velocidad o el tipo de impresora, ya que si se trata de piezas muy grandes o muy pequeñas puede haber errores de fabricación.
- **Seguridad y regulación:** se conoce que la impresión 3D puede presentar algunos fallos de seguridad, como puede ser el sobrecalentamiento provocando un incendio. Además, en base a los derechos de autor también surgen algunos problemas por la falsificación de objetos.

En definitiva, una vez están expuestas tanto las características positivas como negativas, se considera que este método de fabricación es el más idóneo para el desarrollo de la prótesis, ya que es un proceso económico y sencillo, no se desperdicia material durante la fabricación y se puede reciclar en su totalidad.

1.9. PLANTEAMIENTO DE LAS SOLUCIONES ALTERNATIVAS

1.9.1. Bocetos de las soluciones alternativas

A continuación, después de obtener toda la información necesaria para poder empezar con el diseño de la prótesis, se ha pensado en realizar el diseño por partes. En primer lugar, la parte estética del objeto, es decir la carcasa. Seguidamente, se va a proponer la unión de la articulación perteneciente al codo, y por último, el ajuste de la carcasa al muñón.

Un aspecto que no se va a tener en cuenta es la parte del encaje de la prótesis, es decir, el producto que esté entre el muñón y la prótesis. No se va a realizar el diseño de esta parte ya que es una pieza totalmente personalizable, en otras palabras, para cada paciente es distinta ya que debe amoldarse perfectamente al muñón.

1.9.1.1. Diseño de la prótesis

Como breve introducción de los diseños de la prótesis, para los siguientes bocetos, se ha obtenido una pequeña inspiración de todas aquellas estructuras geométricas que son más resistentes y que se pueden encontrar en la vida cotidiana.

- **BOCETO CUADRICULAR**

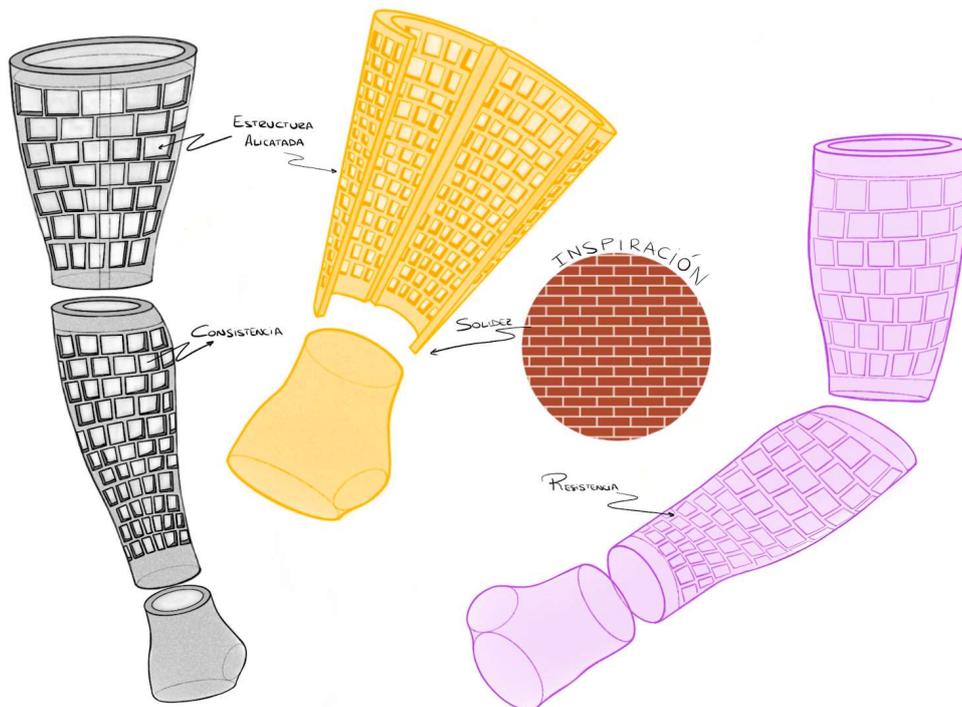


Figura 48: Boceto cuadrícula. Elaboración propia.

El primer boceto que se presenta, está inspirado en la colocación de los objetos que construyen las paredes que rodean el día a día, es decir, los ladrillos.

Como se puede observar en las fotografías de inspiración, se trata de una estructura alicatada de la cual se ha extraído la colocación de los ladrillos para realizar el patrón de la prótesis.

De este modo, la aplicación a la prótesis es crear los huecos de forma alterna donde las juntas de estas cavidades no coinciden. Esta colocación le otorga un refuerzo a la estructura ya que cada vacío se apoya en otros dos.

- **BOCETO HEXAGONAL**

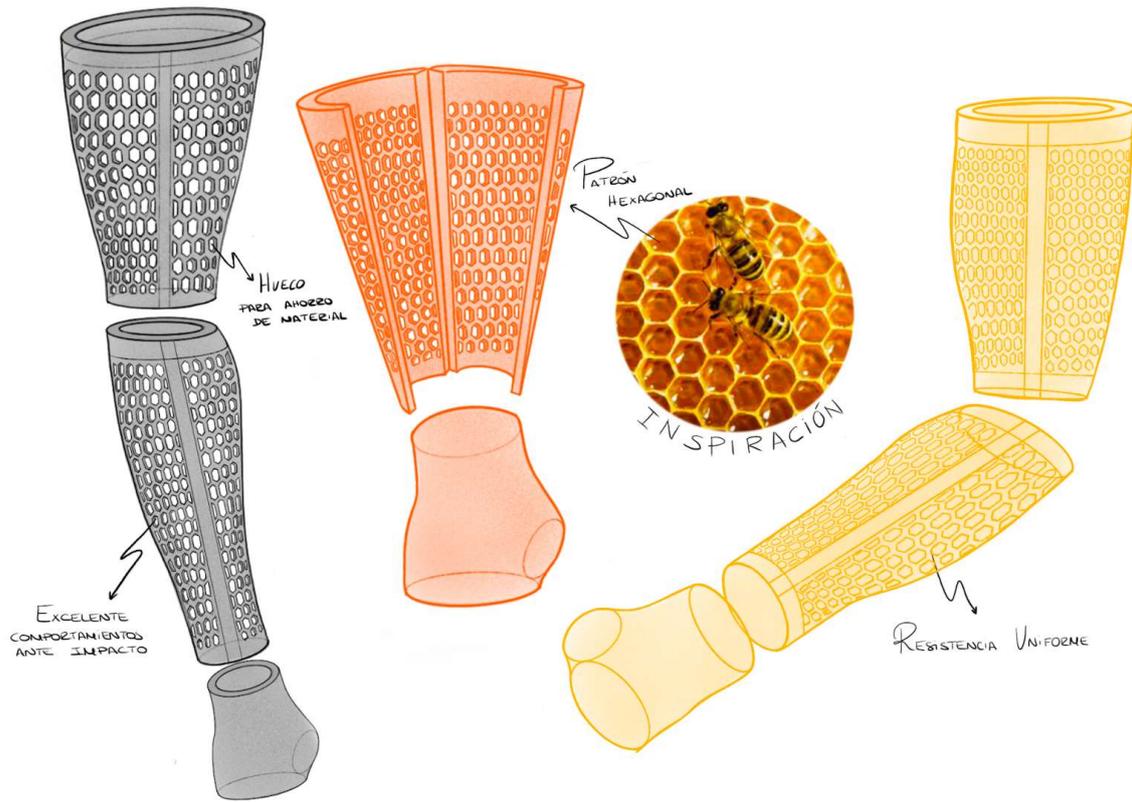


Figura 49: Boceto hexagonal. Elaboración propia.

El siguiente boceto, está relacionado con la naturaleza ya que la inspiración surge del hogar de los pequeños insectos como son las abejas. En este caso, la idea es trasladar el patrón de un panal al diseño de la prótesis, ya que se trata de una forma geométrica la cual combina distintas características a tener en cuenta en el diseño. En primer lugar, el hexágono ayuda a una mayor combinación del espacio, así como también en el ahorro de material, y todo el conjunto de estas formas proporciona una gran estabilidad. Además, también se considera la estructura más eficiente a la hora de la ventilación.

• BOCETO LINEAL

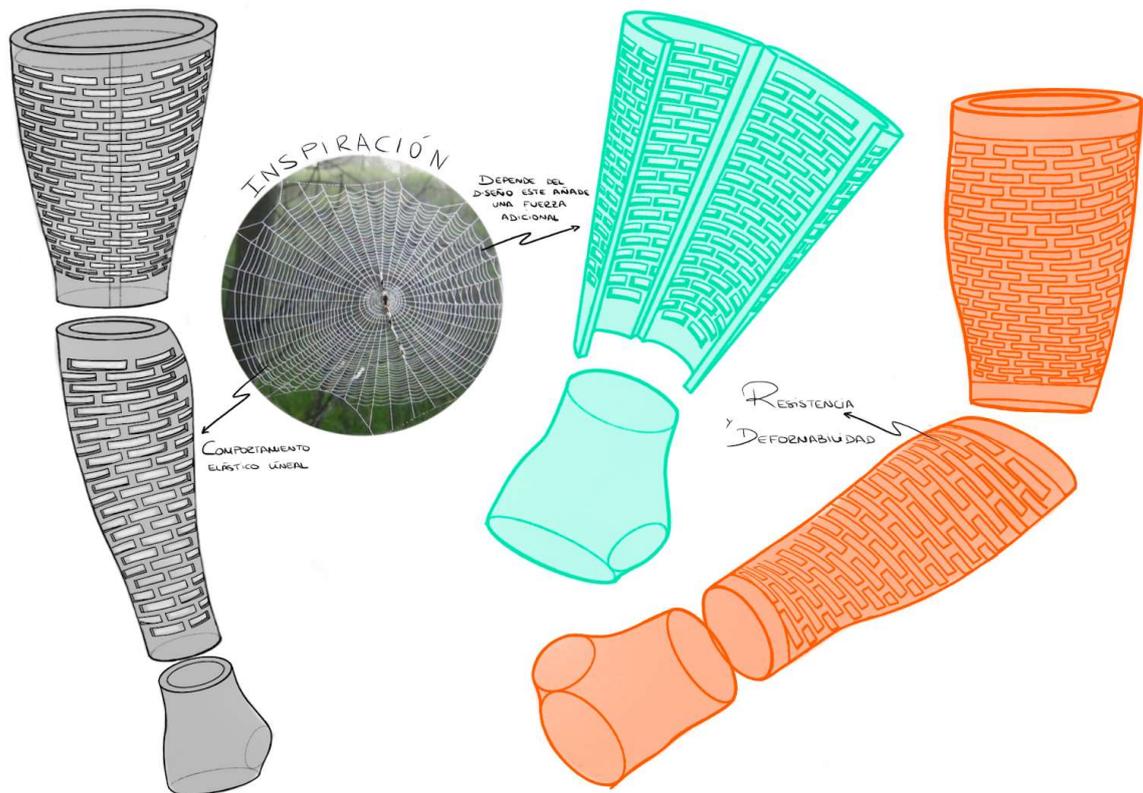


Figura 50: Boceto lineal. Elaboración propia.

A continuación el tercer boceto, también tiene relación con la naturaleza y con los insectos, y más concretamente con el patrón de las telas de araña. Las características a destacar de esta estructura es el comportamiento elástico lineal, donde el material se deforma en proporción a la fuerza aplicada. De igual forma, se recrean los huecos proporcionando así el ahorro de material sin perder la resistencia del objeto. [40]

• BOCETO TRIANGULAR

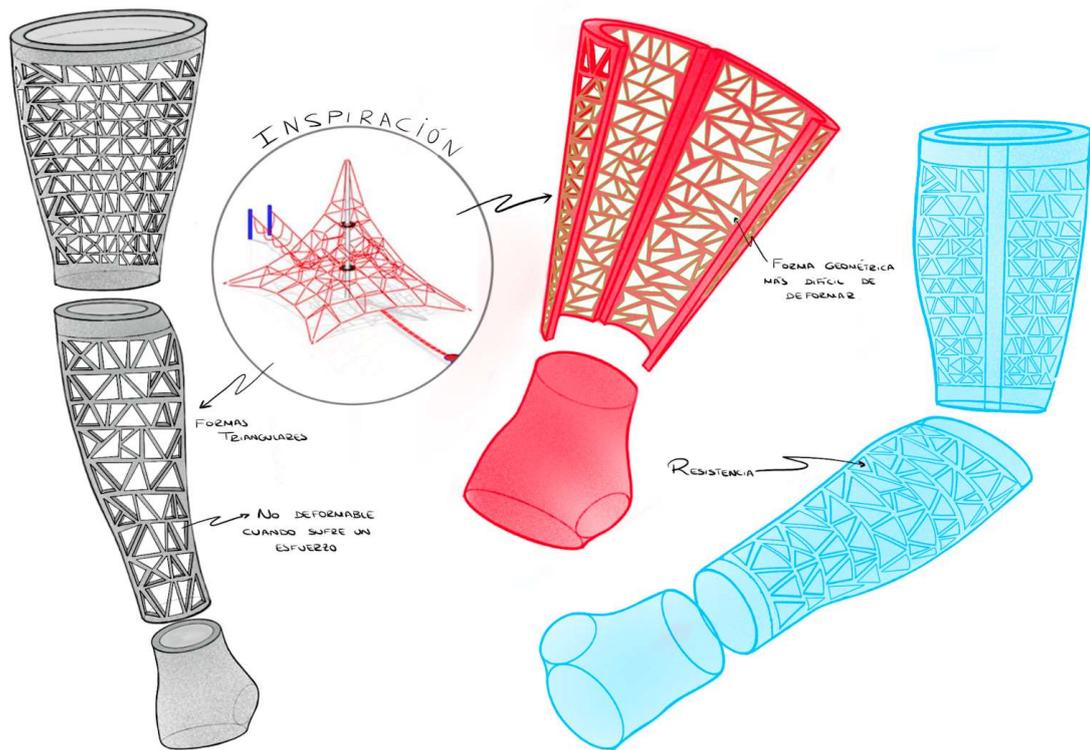


Figura 51: Boceto triangular. Elaboración propia.

Finalmente, la última propuesta se basa en la forma geométrica del triángulo la cual establece que presenta una gran resistencia ya que es difícil que se produzca la deformación cuando sufre un esfuerzo. Asimismo es un patrón versátil y adaptable, porque se pueden crear estructuras complejas a partir de esta forma. [41]

1.9.1.2. Diseño del tipo de unión (Codo)

- **PROPUESTA 1: UNIÓN COONRAD-MORREY**

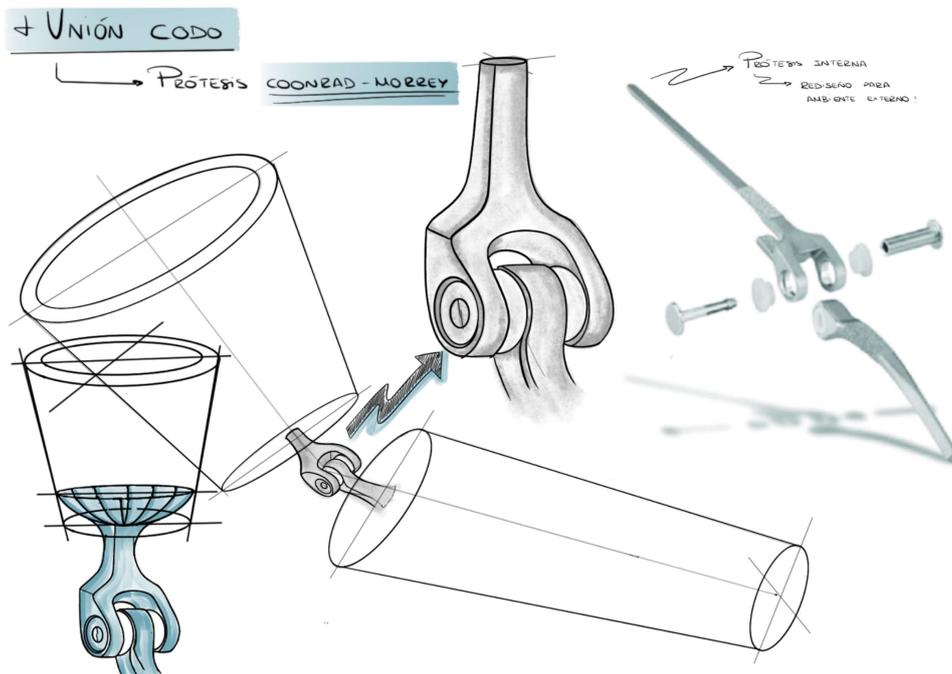


Figura 52: Unión de Coonrad-Morrey rediseñada. Elaboración propia.

Esta primera propuesta que se ha seleccionado para la articulación de codo se le conoce como prótesis de Coonrad-Morrey. Es una prótesis total de codo, tipo bisagra, la cual se diseñó para combatir la artritis reumatoide y la artritis degenerativa, así como también para la reconstrucción de traumatismos. [39]

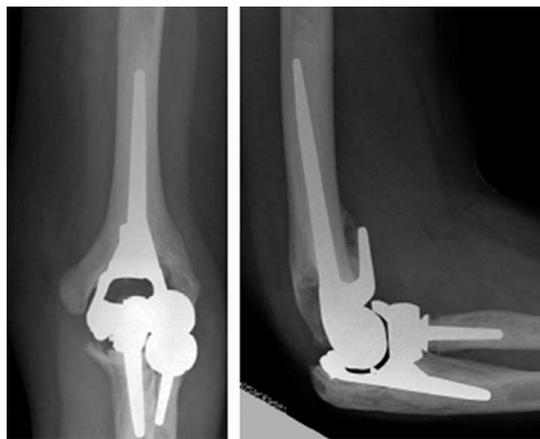


Figura 53: Unión de Coonrad-Morrey radiografía. [89]

Cabe destacar que es una prótesis interna que se debe aplicar con cirugía sencilla. Este objeto está compuesto por dos vástagos cubital y humeral, los cuales se insertan dentro del hueso como se puede observar en la figura X, y están unidos por pin de ensamble extraíble, que proporciona la movilidad.

Para este caso, se ha pensado en poder aplicar esta tecnología para la prótesis, de esta forma sería el mismo funcionamiento pero en un ambiente exterior.

- **PROPUESTA 2: CODO ROTACIONAL**

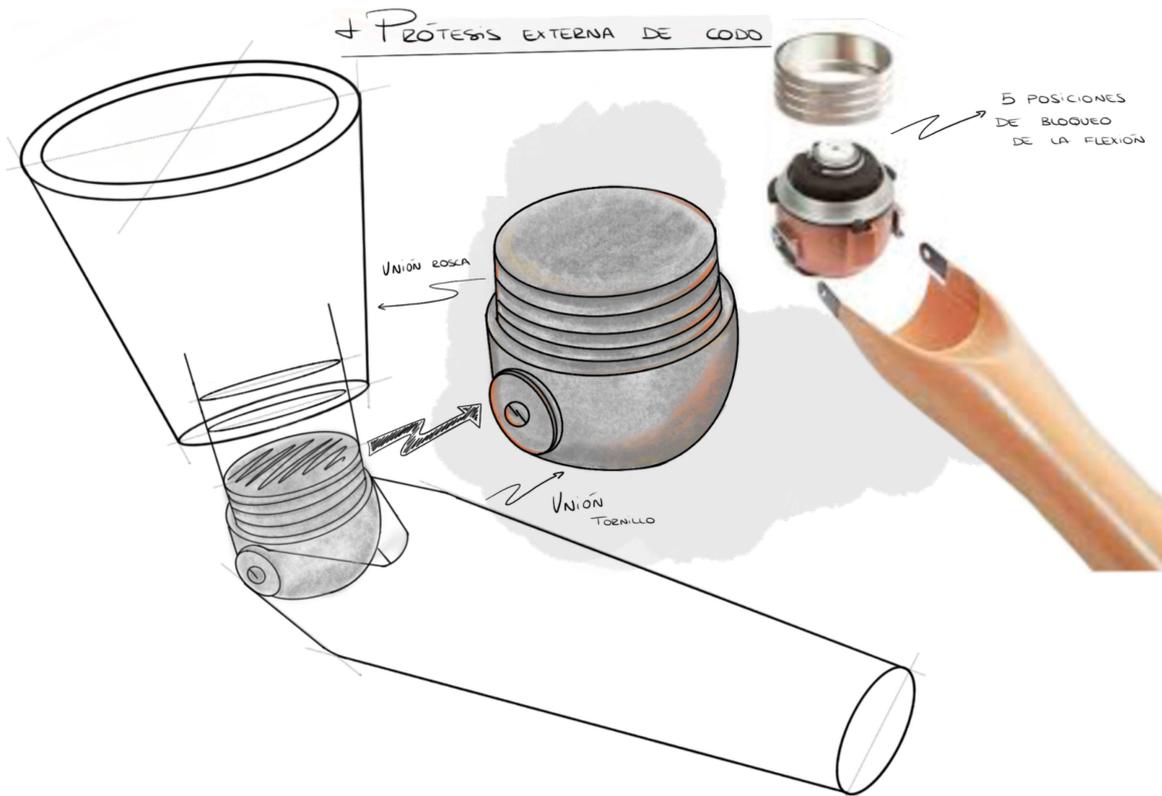


Figura 54: Codo rotacional. Elaboración propia.

La siguiente propuesta de articulación, ya se encuentra en el mercado de las prótesis y se trata de un codo externo que funciona de forma manual, es decir, el paciente debe colocarse la prótesis en la posición que desee. Sin embargo, el mayor inconveniente que tiene este tipo de diseño, es que solo cuenta con 5 posiciones de bloqueo. En el caso de las uniones, para la parte superior de la prótesis es una unión roscada, y con la pieza inferior la unión es un remache corredero.

- **PROPUESTA 3: ORTESIS DE CODO**

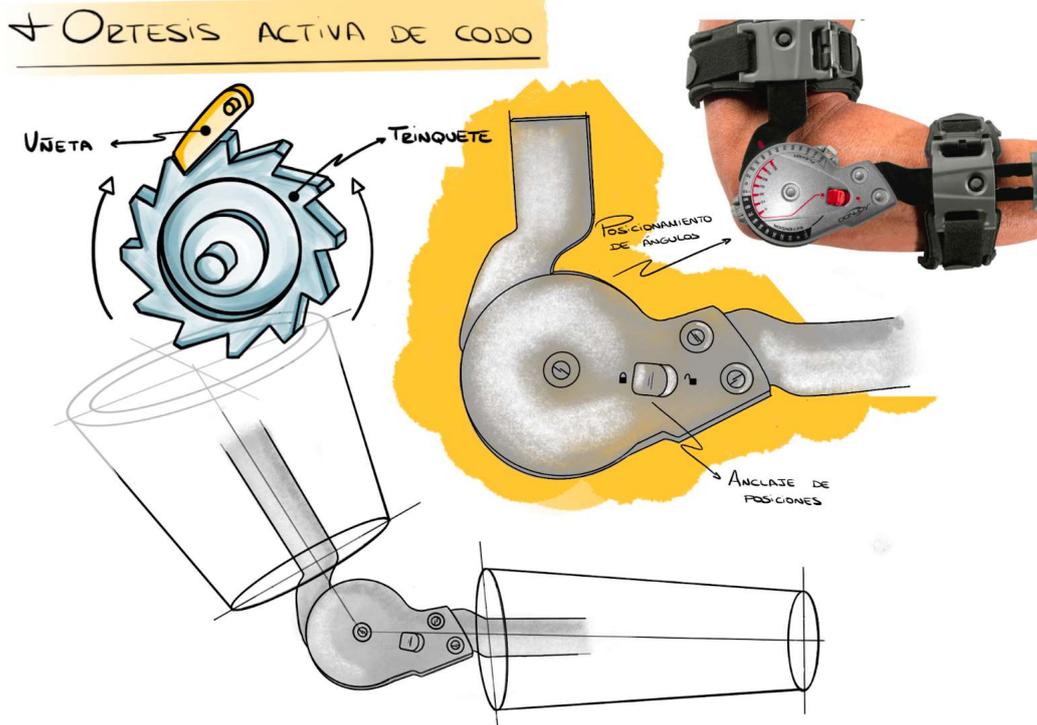


Figura 55: Ortesis de codo. Elaboración propia.

Como última propuesta, se ha optado por el mecanismo de una ortesis activa de codo o también conocido como trinquetes de retención, que consiste en la inmovilización de la articulación del codo en una posición concreta. Este objeto está diseñado para la paralización del brazo después de sufrir una lesión u operación. Sin embargo, lo que se pretende es extraer la parte móvil de la ortesis, es decir aquello que permite la inmovilización en diferentes ángulos para aportar esa movilidad a la prótesis. Su funcionamiento consiste en que el movimiento solo se puede realizar en una dirección y por tanto se produce el bloqueo en el sentido contrario. En el caso de querer desbloquear el movimiento se debe presionar la plancha de liberación pero con ayuda de la otra extremidad.

1.9.1.3. Diseño de ajuste

Para el ajuste de la prótesis al muñón se ha pensado en dos tipos de uniones que a día de hoy se pueden encontrar en el mercado.

- **PROPUESTA 1: CINTAS DE VELCRO**

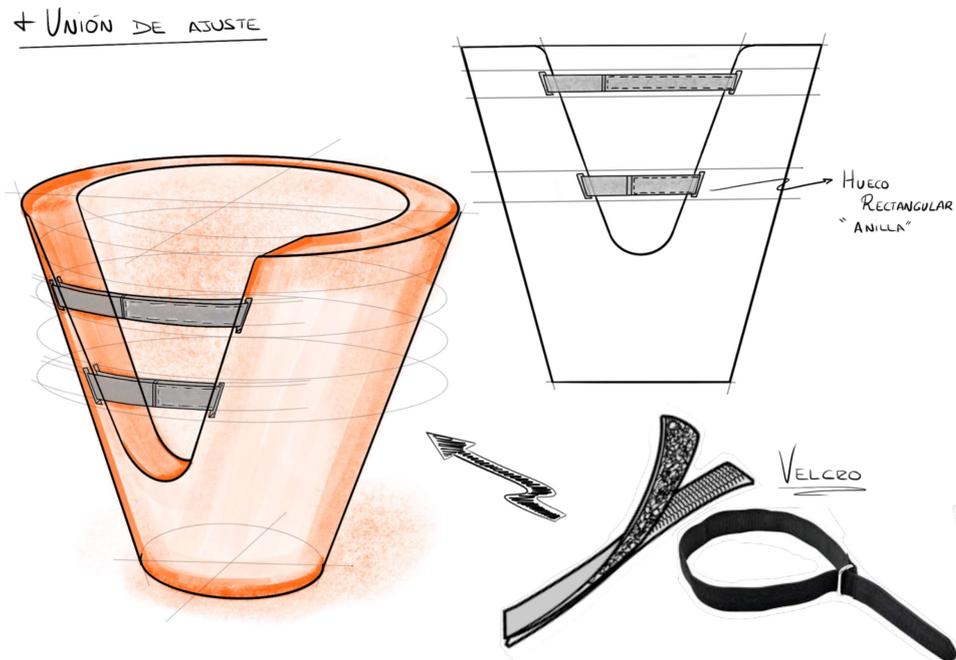


Figura 56: Boceto unión de velcro. Elaboración propia.

El primer planteamiento para el ajuste de la prótesis serían dos tiras de velcro las cuales estarían unidas a la parte superior de la prótesis mediante unos pequeños huecos que simulan la función de la anilla, como se puede observar en la imagen inferior de la derecha. Este tipo de unión puede ser útil ya que el reemplazo por rotura, mal uso o desgaste, es bastante sencillo y rápido de realizar. Además, la adquisición de estas pequeñas tiras no resulta complicado ya que se pueden comprar en muchos sitios. Sin embargo, el inconveniente que puede presentar esta unión es el desgaste del adhesivo por la utilización, o incluso por la acumulación de pelusas en los pequeños ganchos plásticos, lo que suele impedir una buena adhesión con las fibras.

- **PROPUESTA 2: CORREAS DE HEBILLAS**

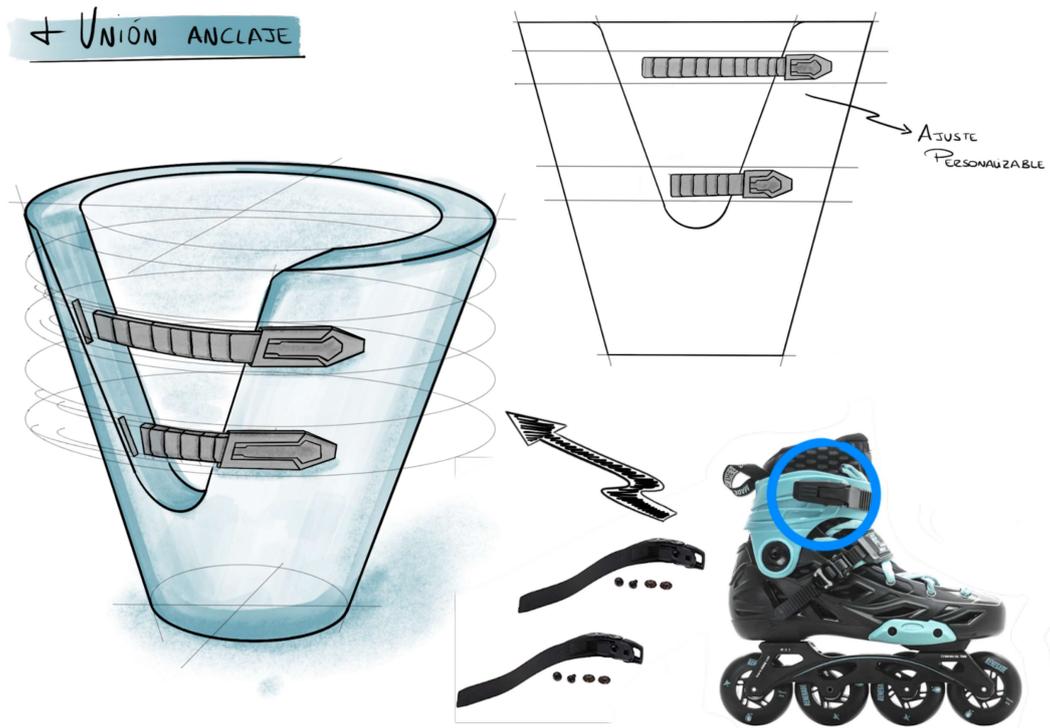


Figura 57: Boceto unión hebillas. Elaboración propia.

Otro tipo de unión que se ha tenido en cuenta con las correas de hebillas que se pueden encontrar en los patines de línea, como la imagen inferior de la derecha que ha servido como inspiración. Con este tipo de anclaje lo que se pretende es aportar una unión más resistente y sólida, que de la misma manera que el velcro permite el ajuste personalizado. Empero, se puede decir que este tipo de unión es más compleja, ya que su funcionamiento es más laborioso así como también su sistema de unión a la prótesis, el cual debería ser pegado o atornillado. Ese simple hecho podría dificultar la tarea del recambio de la pieza por rotura, convirtiéndose en una tarea más lenta y dificultosa.

1.9.1.4. Diseño de unión (articulación de muñeca)

Respecto a las uniones que se proponen a continuación están pensadas para que se puedan desarrollar distintos tipos de accesorios pertenecientes a la parte de la mano (7), que sirvan para actividades específicas y el usuario pueda realizar estos cambios de forma sencilla.

- **UNIÓN CILÍNDRICA**

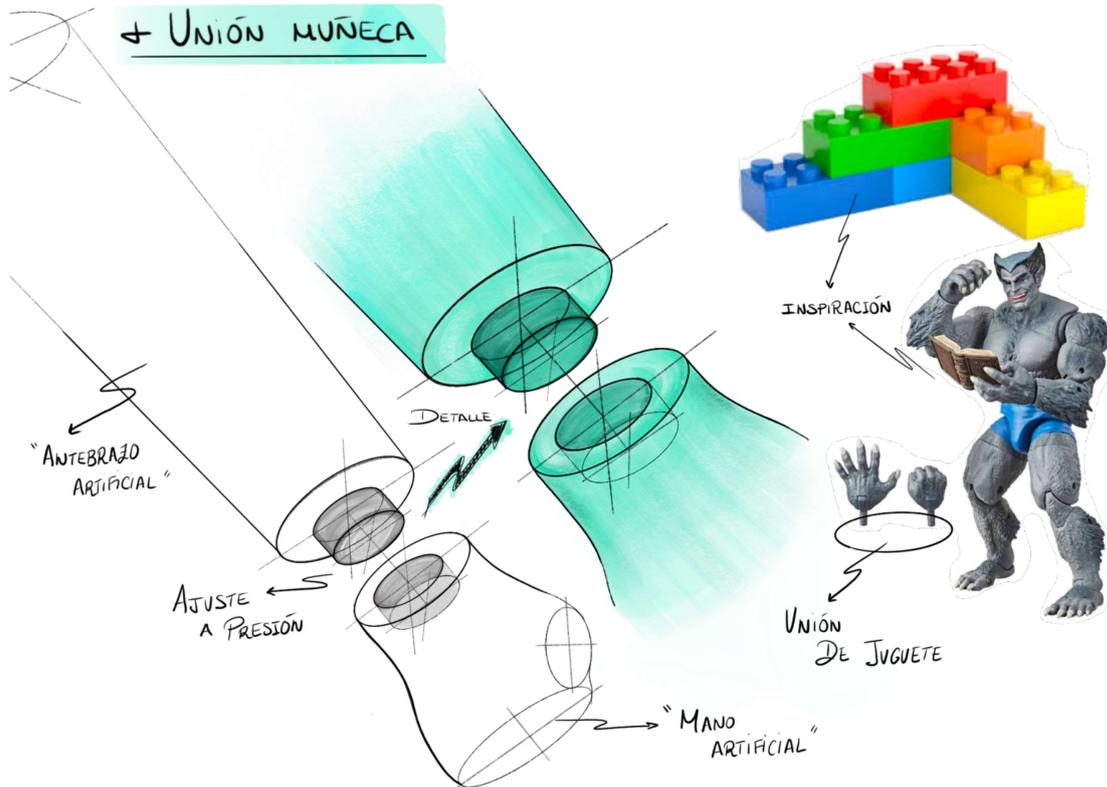


Figura 58: Boceto de unión cilíndrica de muñeca. Elaboración propia.

La primera unión que se ha desarrollado está inspirada en las pequeñas piezas de construcción de la marca LEGO. Así como también en los muñecos de superhéroes a los cuales se les puede cambiar algunos accesorios de esta forma. Son uniones a presión, por tanto para que suceda este encaje solo se debe aplicar una fuerza para insertar el cilindro dentro de la cavidad.

- UNIÓN ESFÉRICA

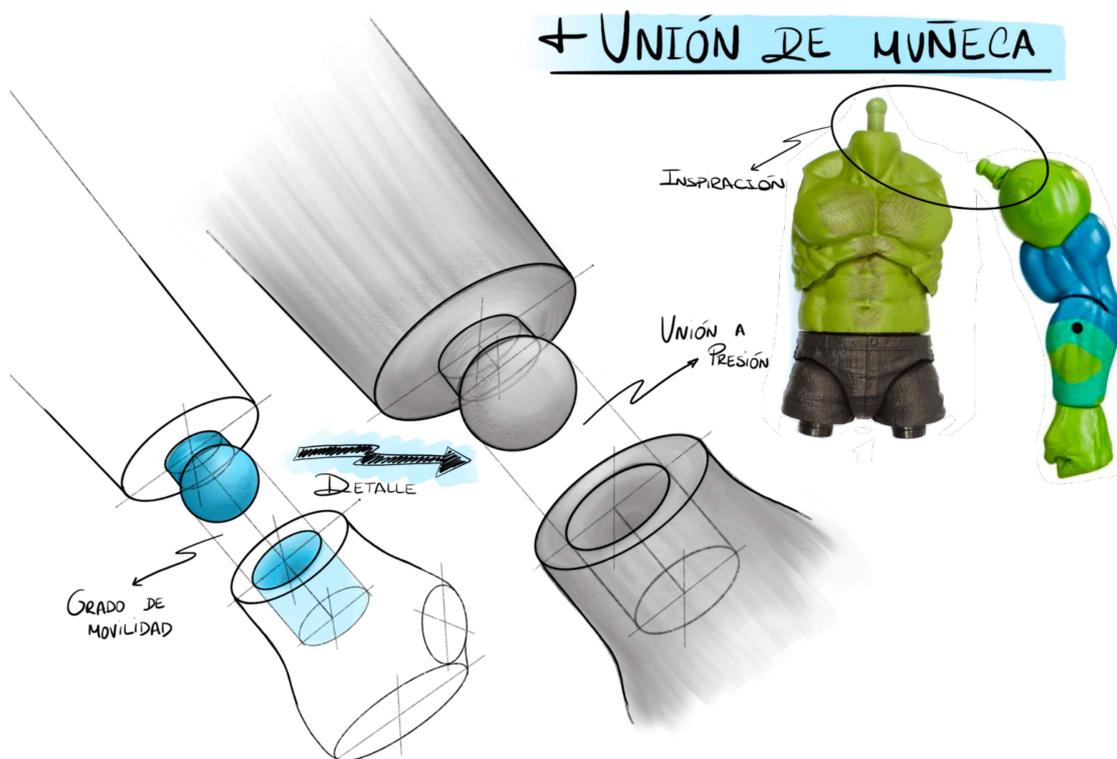


Figura 59: Boceto de unión esférica muñeca. Elaboración propia.

A continuación, se plantea un caso muy similar al anterior, pero el cambio radica en la terminación del cilindro en forma de esfera. La inspiración surge al observar a un pequeño de la casa jugar con estos juguetes de la imagen a los cuales les intercambia las extremidades y la cabeza. Y lo que permite esta unión es la rotación y articulación de los distintos accesorios, pero hasta un cierto límite. La unión también es a presión.

1.9.2. VTP (Valoración técnica ponderada)

El siguiente paso es la evaluación de los diseños propuestos anteriormente para observar y analizar cuál es el que más se adapta a las necesidades requeridas. De este modo, el método de corrección es la valoración técnica ponderada que se define con la siguiente expresión;

$$\text{VTP} = \frac{\text{Suma de las multiplicaciones de (I x P)}}{\text{Multiplicación de P}_{\text{máx}} \times \text{Suma de la I}}$$

1.9.2.1. VTP diseño de la prótesis

Tabla 9 : VTP del diseño de la prótesis.

	IMPORTANCIA I	BOCETO CUADRICULAR		BOCETO HEXAGONAL		BOCETO LINEAL		BOCETO TRIANGULAR	
		P	PxI	P	PxI	P	PxI	P	PxI
Funcional	7,5	2	15	2	15	2	15	2	15
Estética	7	3	21	5	35	4	28	2	14
Atractivo a la venta	6	3	18	5	30	4	24	3	18
Material reciclable	5,5	4	22	4	22	4	22	4	22
Ligero	5,5	4	22	3	16,5	3	16,5	5	27,5
Ergonómico	6,5	4	26	4	26	4	26	4	26
Fácil de limpiar	3	4	12	3	9	3	9	1	3
Acabado	4,5	4	18	4	18	4	18	4	18
Dimensiones ajustables	4,5	4	18	4	18	4	18	4	18
Ambos sexos	5	5	25	5	25	5	25	5	25
Mínimos elementos	7	3	21	3	21	3	21	3	21
Resistente	4	4	16	5	20	4	16	3	12
Seguro	5,5	3	16,5	5	27,5	4	22	2	11
	71,5	250,5		283		260,5		230,5	
VTP		0,7006		0,7916		0,7286		0,6447	

1.9.2.2. VTP del tipo de unión (Codo)

Tabla 10: VTP del tipo de unión en el codo

	IMPORTANCIA I	PROPUESTA 1 COONRAD-MORREY		PROPUESTA 2 ROTACIONAL		PROPUESTA 3 ORTESIS	
		P	PxI	P	PxI	P	PxI
Funcional	7,5	3	22,5	4	30	5	37,5
Estética	7	2	14	4	28	3	21
Atractivo a la venta	6	2	12	3	18	4	24
Material reciclable	5,5	4	22	4	22	4	22
Ligero	5,5	4	22	2	11	3	16,5
Ergonómico	6,5	2	13	4	26	4	26
Fácil de limpiar	3	3	9	4	12	4	12
Acabado	4,5	4	18	3	13,5	3	13,5
Dimensiones ajustables	4,5	1	4,5	4	18	5	22,5
Ambos sexos	5	3	15	3	15	3	15
Mínimos elementos	7	2	14	4	28	3	21
Resistente	4	2	8	4	16	3	12
Seguro	5,5	2	11	4	22	4	22
	71,5	185		259,5		265	
VTP		0,5174		0,7258		0,7412	

1.9.2.3. VTP de ajuste

Tabla 11: VTP del ajuste de la prótesis

	IMPORTANCIA	VELCRO		HEBILLAS	
	I	P	PxI	P	PxI
Funcional	7,5	4	30	4	30
Estética	7	4	28	3	21
Atractivo a la venta	6	4	24	3	18
Material reciclable	5,5	3	16,5	4	22
Ligero	5,5	5	27,5	3	16,5
Ergonómico	6,5	5	32,5	3	19,5
Fácil de limpiar	3	3	9	4	12
Acabado	4,5	3	13,5	3	13,5
Dimensiones ajustables	4,5	5	22,5	4	18
Ambos sexos	5	4	20	4	20
Mínimos elementos	7	5	35	3	21
Resistente	4	3	12	4	16
Seguro	5,5	3	16,5	4	22
	71,5		287		249,5
VTP		0,8027		0,6979	

1.9.2.4. VTP de unión (muñeca)

Tabla 12: VTP de la unión perteneciente a la muñeca

	IMPORTANCIA	CILÍNDRICA		ESFÉRICA	
	I	P	Pxl	P	Pxl
Funcional	7,5	3	22,5	5	37,5
Estética	7	4	28	4	28
Atractivo a la venta	6	4	24	5	30
Material reciclable	5,5	4	22	4	22
Ligero	5,5	4	22	4	22
Ergonómico	6,5	3	19,5	4	26
Fácil de limpiar	3	4	12	4	12
Acabado	4,5	4	18	4	18
Dimensiones ajustables	4,5	3	13,5	4	18
Ambos sexos	5	4	20	4	20
Mínimos elementos	7	4	28	3	21
Resistente	4	4	16	4	16
Seguro	5,5	4	22	4	22
	71,5		267,5		292,5
VTP			0,7482		0,8181

1.9.3. Análisis de las soluciones

Después de haber realizado los VTP correspondientes a todas las partes de la prótesis y obtener cuál es la opción más adecuada para desarrollarla. Se procede a realizar un pequeño análisis de estos resultados.

Del primer VTP el cual corresponde más a la parte estética de la prótesis, se puede observar que el diseño hexagonal es el que ha obtenido una puntuación más alta, ya que se considera el más atractivo a la venta, seguro y resistente por su formación de panal de abeja. Ciertamente, que la ligereza es un factor el cual debería rediseñarse ya que es una de las propiedades más importantes.

Seguidamente, por parte de la articulación del codo, la que ha obtenido una puntuación más baja ha sido la articulación de Coonrad-Morrey, ya que tiene muchos elementos y su uso en el exterior es más complicado. Siguiendo dentro de este punto, entre el codo rotacional y la ortesis los resultados han estado reñidos, sin embargo la ortesis puede ofrecer un rango de movimientos mucho mayores, por tanto la funcionalidad prima en este caso.

Por otro lado, en cuanto al ajuste de la prótesis al muñón, también se han obtenido resultados parecidos entre las dos opciones, pero el ajuste de las tiras de velcro se ha sido el de mayor valor ya que al ser tiras de tela los elementos son menores, y puede ajustarse de manera más precisa a todas las medidas.

Para finalizar, en el caso de la unión de la muñeca ha salido vencedora la unión esférica, ya que al poder obtener un pequeño giro/movimiento del elemento se considera más funcional.

En resumen, la prótesis va a tener un patrón hexagonal y se va a ajustar a los usuarios con tiras de velcro, y en cuanto a la movilidad su funcionamiento pretende ser lo más sencillo posible con la articulación de ortesis y la unión esférica a presión.

1.10. RESULTADOS FINALES

1.10.1. Descripción y justificación del diseño adoptado

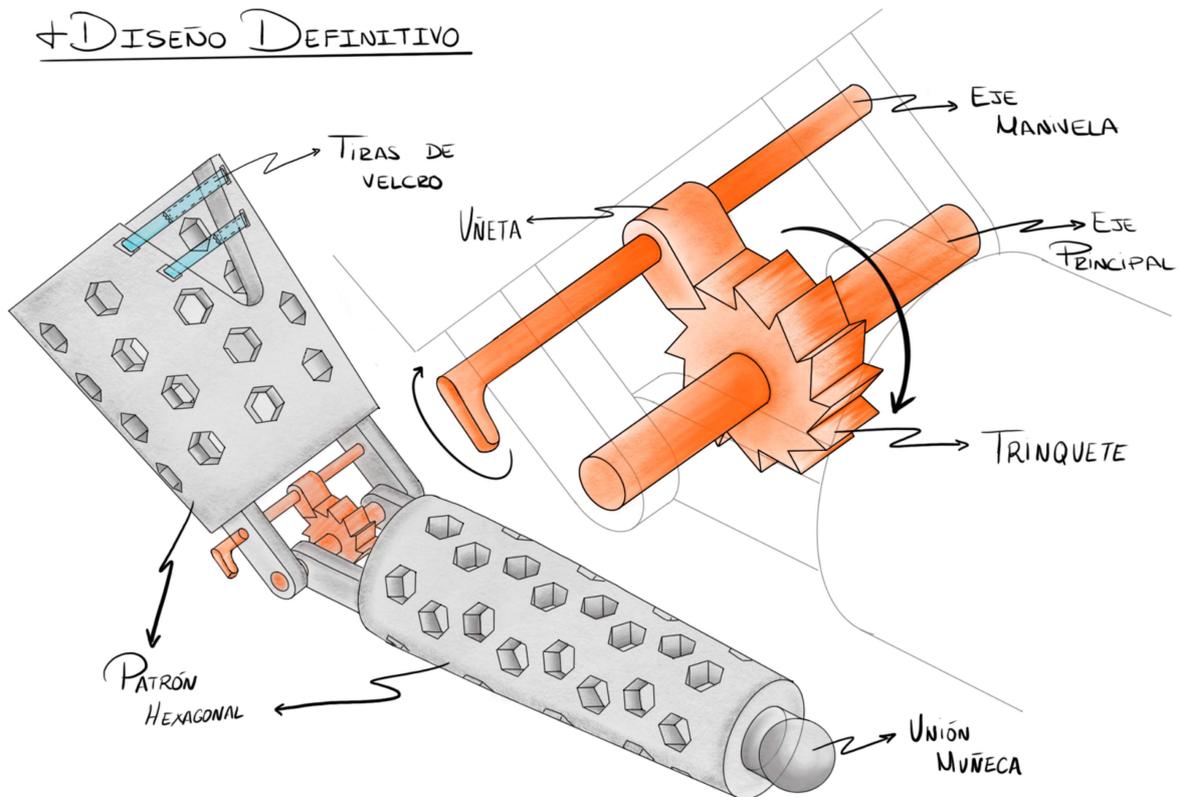


Figura 60: Boceto de diseño definitivo del producto. Elaboración propia.

En el boceto superior se encuentra el diseño definitivo que va a tener la prótesis. En primer lugar se puede observar como la parte estética está compuesta por el patrón hexagonal, el cual ha sido el más adecuado para este diseño. A continuación, lo que va a proporcionar la movilidad de este objeto, son los componentes que se encuentran de color naranja, los cuales surgen de un rediseño de la opción seleccionada que ha sido la ortesis de codo. El funcionamiento se otorga gracias al rodamiento del trinquete, donde cada escalón va a proporcionar un ángulo de flexión. Para poder realizar el movimiento de flexión el usuario deberá ayudarse con la otra extremidad para colocar la prótesis en la posición deseada. Y en el caso de querer realizar el movimiento de extensión hay una manivela que está unida a la uñeta, y mediante la rotación de esta, el antebrazo se mueve hacia abajo. Por último, en lo que respecta a la unión de la muñeca, esta es la estructura esférica que además de ser una unión a presión, también permite la colocación para distintos accesorios, y un pequeño rango de movilidad de estos.

1.10.2. Viabilidad

1.10.2.1. Viabilidad técnica y física

1.10.2.1.1. Dimensionado previo

Para poder establecer las medidas que va a tener la prótesis, se han analizado las medidas antropométricas de la población laboral española, y más concretamente aquellas dimensiones que están relacionadas con la extremidad superior.

Además, al ser una prótesis que va dirigida a todas aquellas personas que han sufrido una cirugía de amputación o simplemente tienen una malformación congénita, las medidas seleccionadas se han extraído del apartado 1.6.2, y más concretamente del percentil 95 del sexo masculino. Con la aplicación del P95 en las medidas de la prótesis se asegura que la gran mayoría de la población pueda hacer uso de este objeto.

De este modo, el dimensionado previo de la prótesis está restringido por las siguientes medidas, ya que se consideran las más importantes. Sin embargo, algunas de estas medidas no tienen el mismo valor que en la tabla, ya que las dimensiones que están recogidas en la tabla X viene acompañadas de una imagen gráfica, que se encuentra en el anexo 2.8. Y en estas imágenes se puede observar desde inicio de la medida y el final, y en el caso de la longitud hombro-codo, la medida está normalizada desde el acromion hasta el punto más bajo del codo. Por tanto a la hora de aplicar esta medida al diseño, se ha tenido que restar la diferencia de la parte del hombro en el brazo, así como también la mitad del codo. Además, otro aspecto que se ha tenido en cuenta es que como se ha mencionado en el apartado 1.6.4.1, la medida normalizada del muñón transhumeral es de 20 cm.

Después de lo explicado se han obtenido las dimensiones previas que se encuentran a continuación.

- Longitud hombro-codo = 200 mm
- Longitud codo-muñeca = 280 mm
- Anchura de codo = D 75 mm
- Perímetro del brazo (altura bíceps) = D 100 mm
- Perímetro de la muñeca = D 64 mm

Antes de continuar con el modelado 2D y 3D para el posterior análisis de planos y estructural, se decidió hacer un pequeño boceto/esquema de la prótesis en un papel con las medidas seleccionadas para visualizar de forma más realista todo el conjunto.

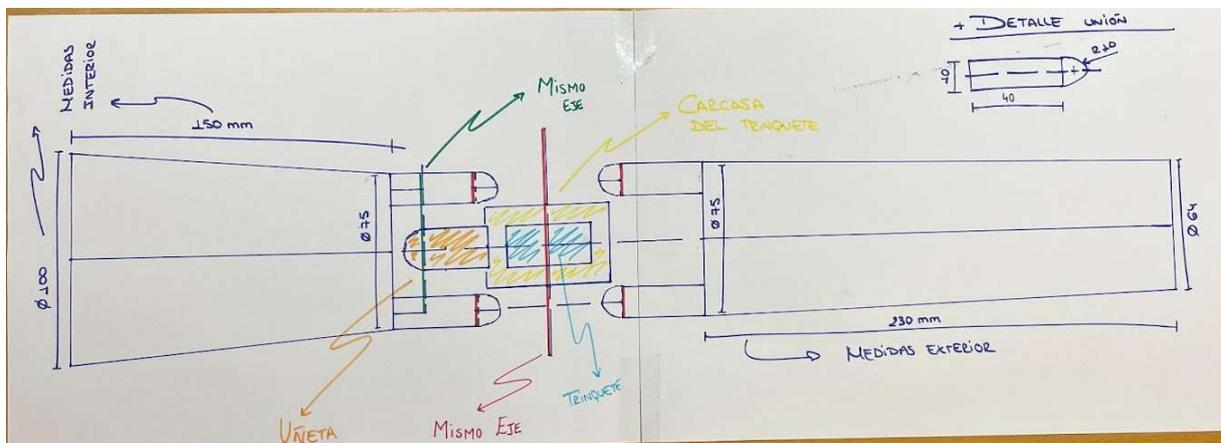


Figura 61: Boceto previo de las dimensiones del producto.

1.10.2.1.2. Materiales

El siguiente aspecto está relacionado con la elección de los materiales que se van a utilizar para el desarrollo de la prótesis. Como bien se lleva comentando desde el inicio del proyecto, el proceso de fabricación que se va a realizar para la confección del producto es la impresión 3D, y más concretamente la tecnología FFF. Además, también se han visto los tipos de materiales que soporta este tipo de impresión, y aunque a día de hoy acepte materiales orgánicos y metales para su extrusión, en este solo se van a tener presentes los polímeros tanto por el coste como por su facilidad de uso.

Por otro lado, no solo se obtienen limitaciones por parte del proceso de fabricación, sino, que se deben tener en cuenta las funciones y propiedades que la prótesis debe tener para que se considere un buen diseño tanto estético como funcional. De este modo, a la hora de seleccionar el material se van a tener en cuenta las siguientes características:

- **Ligero:** al ser un producto que va a estar suspendido y agarrado al muñón durante varias horas, no debe ser muy pesado.
- **Resistente:** esta propiedad está relacionada con la anterior ya que debe soportar los movimientos o algunos esfuerzos que realice el usuario con la prótesis.
- **Comodidad:** teniendo en cuenta que es un producto el cual está en contacto con la piel, se debe utilizar un material de textura adecuada.
- **Reciclable:** es importante utilizar un material al que se le pueda dar un segundo uso al final de su vida útil.
- **Cumplimiento de la normativa**
- **Bajo coste:** al tratarse de una prótesis que se adapta a distintos perfiles está diseñada para que los usuarios no deban gastarse mucho dinero para obtenerla.
- **Acabado superficial:** la prótesis debe tener una parte estética mínimamente decente ya que debe tratar de sustituir el miembro faltante.

En consecuencia a estas propiedades, se van a analizar los tres materiales poliméricos más comunes para la impresión 3D para observar cuál es el que más se adapta a las características nombradas. [44],[45]

- **ABS (Acrilonitrilo butadieno estireno)**

El primer material que se va a analizar es el ABS, está compuesto por 50% de estireno, el resto de porcentaje se divide entre el butadieno y el acrilonitrilo. El ABS se utiliza en distintos sectores de la industria, como por ejemplo en la automoción, la electrónica o los ordenadores. Se considera un material versátil por su ligereza y resistencia, aunque también tiene otras propiedades mecánicas que pueden ser de gran utilidad. El ABS tiene una alta resistencia a impactos incluso cuando se encuentra a temperaturas bajas. Está considerado como un material con una gran rentabilidad, ya que su maquinabilidad es sencilla, está dotado de una buena resistencia química por lo que es un material

personalizable y soldable. Otro dato a destacar de este material es su apariencia física, ya que tiene un acabado brillante aunque también tiene ciertos grados de mate. Un factor muy interesante de este polímero es que es reciclable, ya que después del primer uso se puede volver a triturar para mezclarlo con ABS virgen y así poder fabricar nuevos productos más sostenibles.

Dentro del sector de la impresión 3D, el ABS necesita que la temperatura de impresión sea elevada, ya que es un material sensible a los cambios de temperatura. Otro aspecto que ocurre al utilizar el ABS es el olor que desprende cuando se está imprimiendo ya que no es nada agradable. Al tener una elevada resistencia, su impresión tiende a ser un poco más dificultosa, pero no supone un gran problema. En cuanto al acabado superficial después del proceso de fabricación, este material se puede someter a distintos posprocesamientos como es el lijado o la pintura. Las piezas obtenidas después de la impresión del material son piezas y objetos rígidos, por tanto no se pueden deformar.

En cuanto a las bobinas de ABS son baratas, ya que es uno de los materiales que más se utiliza dentro del mundo de la impresión 3D, si hay variaciones en el precio depende de la marca, del diámetro del filamento o el color.

- **PLA (Ácido Poliláctico)**

El PLA es un material el cual se ha creado desde residuos orgánicos para que su degradación y reciclabilidad resulte más fácil y sencilla. El PLA pertenece a la familia de los termoplásticos y el cual se obtiene gracias a la fermentación de vegetales como la yuca, la patata, el maíz o la caña de azúcar. Otro compuesto del que está formado este material es el ácido láctico el cual es incoloro y soluble en éter¹. A continuación, en relación con las características de este material se debe mencionar que es un material biobasado², de este modo se puede decir que es un material de origen biológico. El PLA es un material el cual se comporta de forma respetuosa con el medio ambiente ya que es compostable en unas condiciones específicas, por tanto no deja ningún residuo sobre la superficie terrestre. En cuanto a los sectores en los que se utiliza este material son en el sector textil, la medicina, en la impresión 3D o en envases y embalajes. Por otro lado, dentro de las propiedades mecánicas se pueden destacar su buena resistencia a la torsión, su dureza, su rigidez y su elasticidad. Además la superficie de este material es brillante, y como en el caso anterior también puede someterse a distintos procesos como el lijado y el pintado.

Respecto a su comportamiento dentro de la impresión 3D, se debe tener presente que no necesita una temperatura muy alta de impresión, y además no desprende ningún olor y no es tan susceptible a los cambios de temperatura. En relación con la viabilidad económica, este material es el más popular y el que más se utiliza dentro de la impresión 3D, por lo que su precio no es elevado, y que de la misma manera que en el caso anterior, puede variar por la marca, el grosor del filamento o el color. Los objetos que son impresos con PLA, son rígidos, por tanto la deformabilidad de la pieza es dificultosa.

- **FILAFLEX 82 A**

¹ Éter: compuesto químico orgánico, sólido, líquido o gaseoso, en cuya molécula existe un átomo de oxígeno unido a dos radicales de hidrocarburos.

² Biobasado: los átomos de carbono de los cuales están compuestas las cadenas de moléculas de algunos materiales son de origen vegetal.

El FilaFlex es un material desarrollado por la empresa Recreus y que por tanto lleva poco tiempo en el mercado, sin embargo tiene un gran impacto dentro del mundo de la impresión 3D por su propiedades. A este material polimérico también se le conoce por las siglas TPU (Poliuretano termoplástico) y su gran propiedad es la elasticidad, ya que después de someterse a una deformación tiene la capacidad de volver a su estado inicial.

Dentro de esta gama de materiales, la empresa ha creado este mismo material pero con distintos grados de dureza, ya que dependiendo de las necesidades que se requieran se recomienda un tipo de dureza u otra. En este caso se ha seleccionado la dureza 82 Shore A, ya que dentro de las aplicaciones de este material está el apartado de prótesis y modelos de órganos, por tanto es un material interesante. En cuanto a las cualidades del FilaFlex se puede destacar que es inodoro, resistente a químicos, está dotado de cierta rigidez y resistencia. Y un aspecto que hoy en día es de vital importancia es la reciclabilidad, y este material cumple con este requisito. Respecto a su comportamiento con el proceso de impresión se puede decir que es bueno ya que es un material creado específicamente para esta tecnología, sin embargo cabe destacar que necesita unas condiciones de impresión distintas de los materiales mencionados anteriormente. El acabado superficial es mate y suave, ya que al tratarse de un material elástico las capas de impresión son muy finas y no se nota el salto entre estas. Respecto al coste, si que es el material más caro de los expuestos, ya que es un material el cual está fabricado específicamente para una serie de productos, pero la diferencia de precios respecto a los anteriores no es muy elevada.[46]

En definitiva, después de haber analizado las tres posibilidades de los materiales con los que se podría haber fabricado la prótesis. Se ha optado por seleccionar el filamento elástico para las partes exteriores de la prótesis, ya que es más adecuado al proporcionar una comodidad a las distintas personas que quieran hacer uso de la prótesis. Además también satisface la propiedad de la ligereza y resistencia a la vez, así como también que es un material que se puede reciclar. Y por otro lado, se va a hacer uso del PLA para aquellas partes que necesiten una mayor resistencia, como es el caso de la parte del trinqueta de la prótesis, que es lo que va a otorgar movilidad a esta. Se ha seleccionado el PLA en vez del ABS, por su facilidad a la hora de impresión, así como también por la sencillez a la hora de su reciclabilidad.

Tabla 13: Materiales de la prótesis

MATERIALES	
FilaFlex 82 A	PLA
Elementos exteriores que van a estar en contacto con la piel	Componentes del trinquete.

En cuanto a los valores numéricos que acompañan algunas de las propiedades mecánicas, se pueden encontrar dentro del apartado de anexos y más concretamente en el punto 2,6.

1.10.2.1.3. Procesos de fabricación

El siguiente aspecto a desarrollar está relacionado con el punto 1.8, pero en este caso está más relacionado con el diseño de la prótesis, y aquellos parámetros de la impresora que se deben modificar para su correcta impresión.

En primer lugar, se debe tener en cuenta todas aquellas partes que componen una impresora de FFF, ya que entiendo mejor su funcionamiento y sus partes se puede proceder a explicar todos aquellos pasos que se deben seguir para la impresión.

- **PARTES DE LA IMPRESORA:**

1. **Estructura de la impresora:** en este apartado se engloban todos los componentes que forman la base y el marco de la máquina, es decir, aquellas partes donde se encajan y anclan los demás elementos.



Figura 62: Estructura de la impresora 3D. [90]

2. **Sistema de extrusión:** como bien indica el nombre del conjunto, son aquellas piezas relacionadas con la función de la extrusión del material, en otras palabras, son los elementos que se encargan de la deposición del material para crear el objeto. Y este sistema está compuesto por los siguientes componentes.

- **Extrusor:** su principal objetivo es desplazar el filamento para que este salga a través de la boquilla.
- **Fusor:** tiene como misión calentar el filamento para derretirlo y proporcionar la salida de este mientras este va guiado por las indicaciones de la impresora.

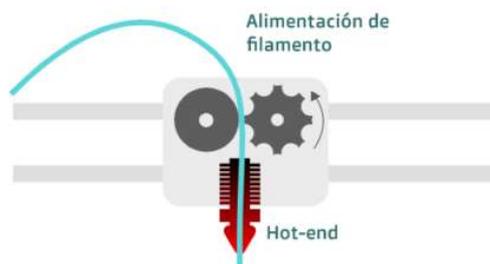


Figura 63: Fusor y extrusor de una impresora 3D. [91]

3. **Ejes:** la gran mayoría de las impresoras funcionan bajo las coordenadas cartesianas, por tanto, esto quiere decir que está formada por los tres ejes X,Y y Z. Cada eje se encarga de transmitir el movimiento deseado para guiar el filamento.

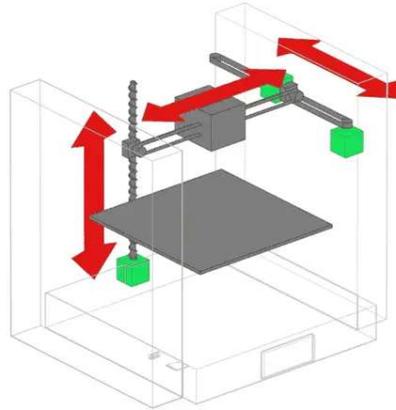


Figura 64: Ejes de una impresora 3D. [92]

4. **Varillas y rodamientos:** estos dos elementos están juntos dentro de la estructura de la impresora, ya que las varillas realizan la función guía de las piezas móviles. Y por parte de los rodamientos, son aquellas piezas que se mueven y deslizan por medio de las varillas.



Figura 65: Varillas y rodamientos de una impresora 3D. [93]

5. **Correas:** son utilizadas ya que son las encargadas de transmitir el movimiento y desplazamiento que el sistema de extrusión necesita para la impresión.

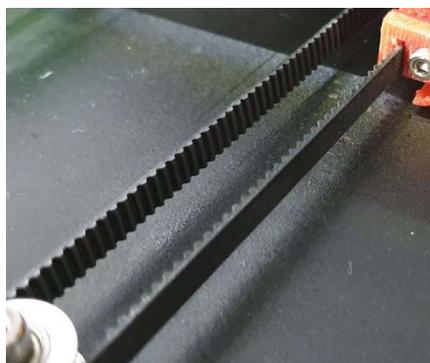


Figura 66: Correas de una impresora 3D.[94]

6. **Husillo:** están relacionados con el eje Z, ya que sirven de guía para los desplazamientos verticales.



Figura 67: Husillo de una impresora 3D.[95]

7. **Fuente de alimentación:** esta parte se sitúa en la estructura de la impresora, y el objetivo es transmitir la corriente de la red eléctrica a la impresora para su funcionamiento.



Figura 68: Fuente de alimentación de una impresora 3D. [96]

8. **Placa base:** es uno de los componentes más importantes, ya que es la encargada de otorgar las órdenes para realizar los objetos. Dentro de esta placa se encuentran algunos componentes como el procesador, que es el encargado del procesamiento de los datos.



Figura 69: Placa base de la impresora 3D.[97]

9. **Cama caliente:** es la base sobre la que se construye el objeto, y su función es calentarse para que el material se adhiera y así proceder a la fabricación de este. Cabe destacar, que no todos los materiales necesitan que la cama caliente tenga temperatura para la impresión.



Figura 70: Cama caliente de una impresora 3D.[98]

10. Panel de control: es el dispositivo de interacción con el usuario, a través de este panel se proporcionan las instrucciones deseadas por parte del usuario. Además, no es necesario tener un ordenador para darle uso a la impresora.



Figura 71: Panel de control impresora 3D. [99]

11. Sensor inductivo: este objeto sirve para la autorregulación de la cama caliente, ya que esta tiene que estar bien calibrada para que la impresión de las piezas sea adecuada.



Figura 71: Sensor inductivo de la impresora 3D.[100]

Después de analizar las piezas más importantes de la impresora, el siguiente paso es conocer todos aquellos parámetros que influyen en la impresión, y que se deben tener en cuenta. Además, muchos de estos parámetros están limitados por el propio material de impresión.

- **PARÁMETROS DE IMPRESIÓN**

1. **Temperatura del extrusor:** en este caso, este aspecto está determinado por el tipo de material que se va a utilizar. En la propia ficha del material (en el apartado 2.6) viene indicado en qué rango de temperatura trabaja mejor. En el caso de poner un valor por debajo o por encima, la impresión puede verse afectada.

Tabla 14: Rangos de temperatura de los materiales. Valores extraídos del anexo 2.6.

RANGO DE TEMPERATURA DEL MATERIAL	
FilaFlex 82A	PLA
220°C - 230°C	215°C

2. **Temperatura de la cama caliente:** por consiguiente, como se ha explicado anteriormente. La temperatura de la cama no es necesaria en algunos casos, pero en el caso de tener que calentarla, esta temperatura también está indicada en la ficha técnica de los materiales.
3. **Relleno:** este factor hace referencia al material que se encuentra en el interior de la pieza fabricada, es decir, todo aquello que hace que la pieza sea más o menos hueca. Este dato se programa con en base al rango de porcentajes de 0% a 100%, siendo el primero una pieza hueca y el segundo porcentaje una pieza maciza.
 - **Diseño del relleno:** Este relleno, puede ser de distintas formas que se pueden utilizar, la selección del tipo de relleno suele estar influenciado por el tiempo de impresión. Los patrones de relleno más utilizados son el rectangular, el triangular, el hexagonal o el diagonal.
4. **Soportes:** este parámetro es opcional siempre, ya que en algunos casos no es necesario hacer uso de esta herramienta. Sin embargo, en algunas piezas los soportes son imprescindibles para que la impresión sea lo más parecida al modelo 3D. Cuando es necesario usar soportes, el propio programa lo indica, marcando la superficie en rojo como se va a observar posteriormente.
5. **Velocidad de impresión:** en este caso, igual que el factor anterior también viene indicado dentro con el material de impresión.
6. **Altura de capa:** y siguiendo con el dato precedente, la altura de capa también viene dada por el material, para un acabado superficial lo más óptimo posible.

Una vez están todas las piezas analizadas y los parámetros más importantes explicados, llega el proceso de impresión y los pasos que hay que seguir para poder realizar una buena impresión 3D.

- **PASOS A SEGUIR**

1. Tener el modelo 3D del objeto que se quiere imprimir.



Figura 72: Captura de SolidWorks modelos 3D. Elaboración propia.

2. Guardar el objeto 3D en un archivo STL.

Pieza brazo, escala mitad	01/06/202...	Standard Tessellation Language (STL) ...	270 KB
Pieza_Antebrazo - escala mitad	02/06/202...	Standard Tessellation Language (STL) ...	345 KB
Pieza_Brazo - copia	30/05/202...	Standard Tessellation Language (STL) ...	270 KB
PRUEBA2	30/05/202...	Standard Tessellation Language (STL) ...	19 KB
Pruebas	30/05/202...	Standard Tessellation Language (STL) ...	18 KB

Figura 73: Captura de pantalla archivos STL. Elaboración propia.

3. Abrir el programa de CuraSlicer (programa de segmentación)

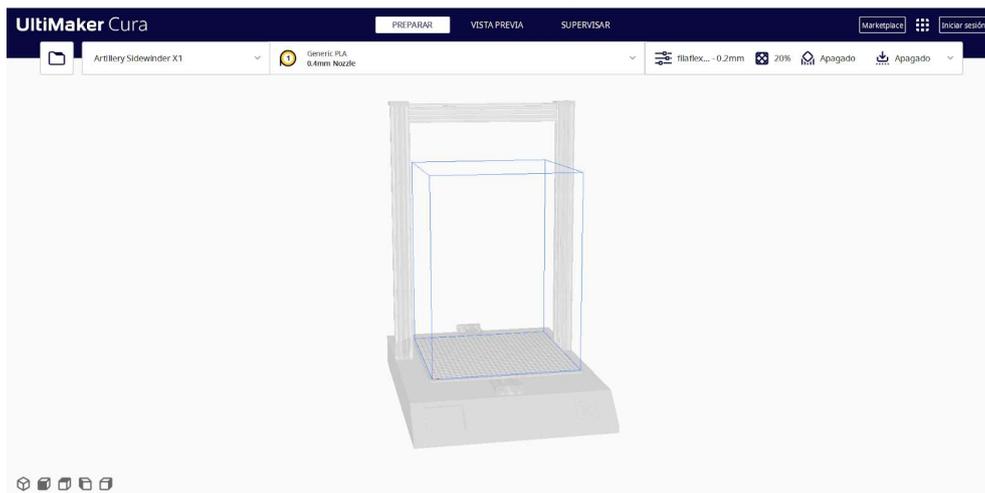


Figura 74: Captura de pantalla, programa CuraSlicer. Elaboración propia.

4. Insertar el archivo STL de la pieza en el programa.

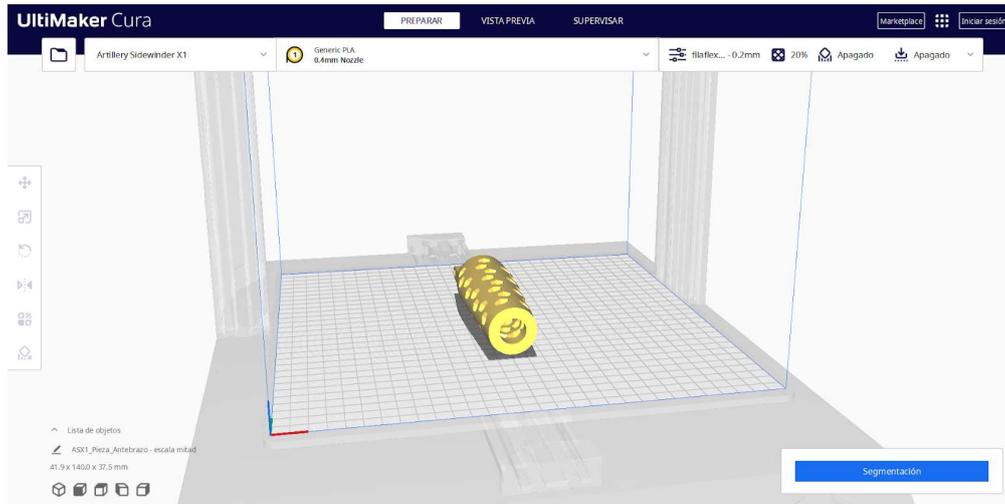


Figura 75: Captura de pantalla, inserción del modelo en Cura Slicer. Elaboración propia.

5. Colocar la pieza de la manera más adecuada para su fabricación y no tener que hacer uso de soportes.

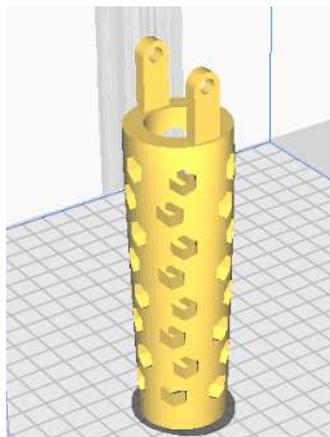


Figura 76: Captura de pantalla, colocación correcta del modelo en Cura Slicer. Elaboración propia.

6. Abrir el panel de los parámetros, para insertar aquellos comandos que están relacionados con el material de impresión y con la propia pieza.

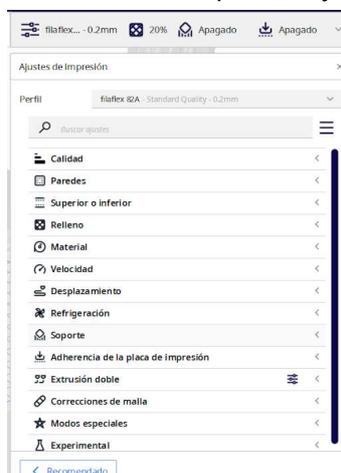


Figura 77: Captura de pantalla parámetros de impresión. Elaboración propia.

7. Insertar el porcentaje de relleno que se quiere en el interior de la pieza, así como también el respectivo patrón de este.
 - El porcentaje de relleno que va a tener esta pieza es del 20%, y la forma de este va a ser hexagonal, ya que se utiliza el mismo criterio que en la prótesis.

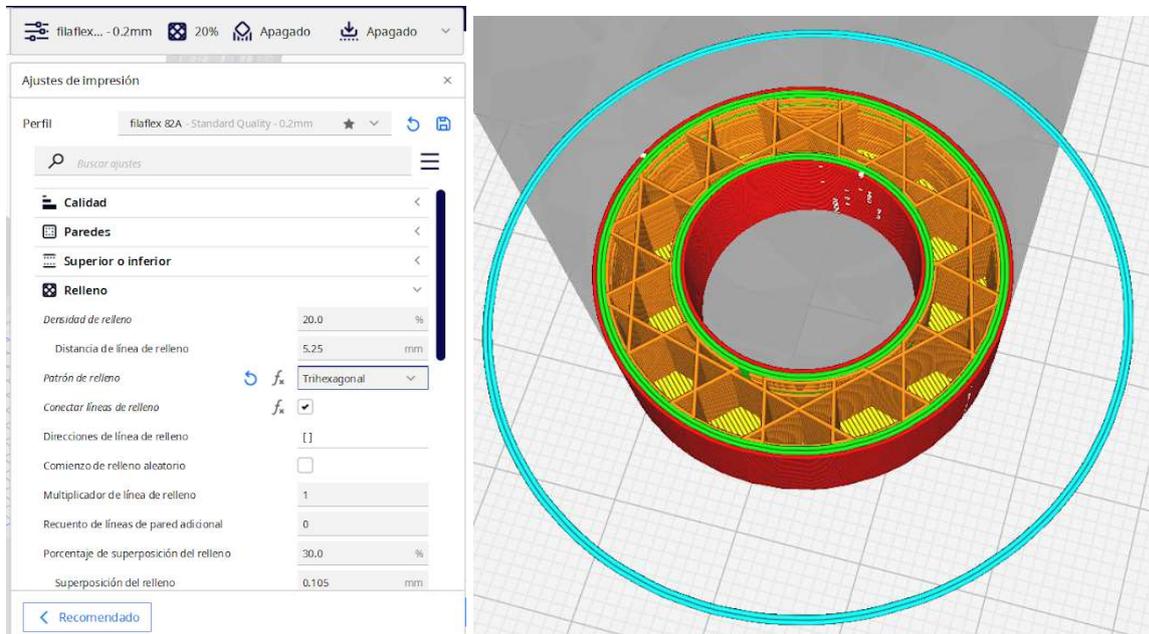


Figura 78: Captura de pantalla, relleno de la pieza. Elaboración propia.

8. Insertar el valor de la altura de capa respetando el valor que viene indicado en la ficha técnica del material. El valor de este dato es de 0,2 mm.

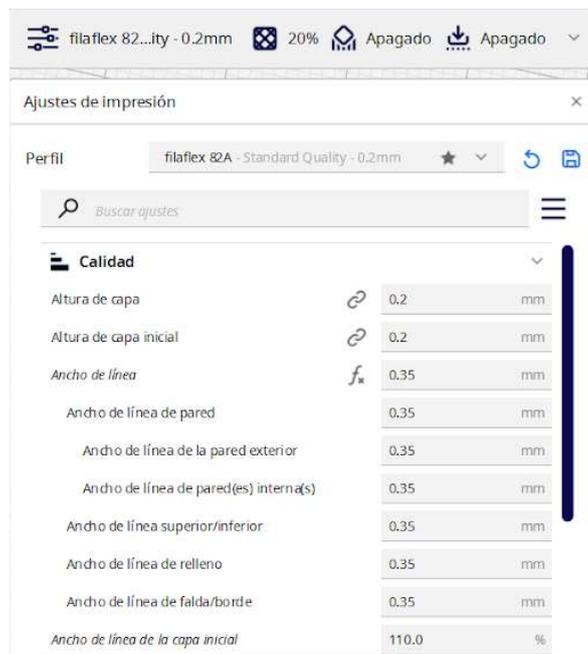


Figura 79: Captura de pantalla para observar el valor de la altura de capa 0,2. Elaboración propia.

9. Introducir la velocidad de impresión la cual se encuentra en la ficha técnica del material. En este caso, se inserta un valor de 45 mm/s.

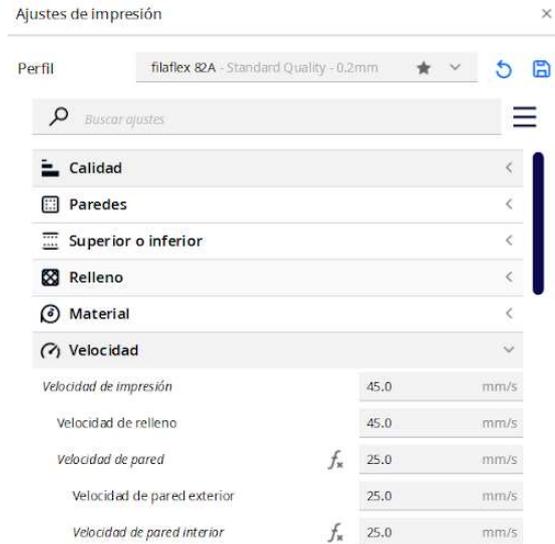


Figura 80: Captura de pantalla, observar la velocidad de impresión. Elaboración propia.

10. Una vez todos los pasos anteriores están realizados, se debe guardar el archivo dentro de un USB, que posteriormente se va a insertar dentro de la impresora. En este paso, también se indica el tiempo de impresión y los gramos de material que se van a utilizar.

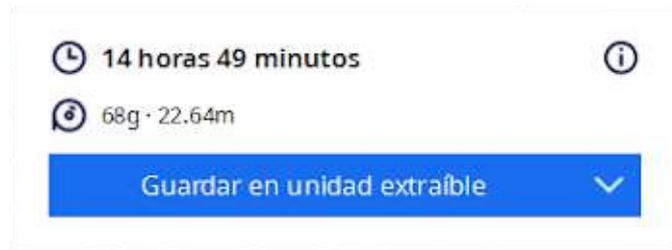


Figura 81: Captura de pantalla para ver el tiempo de impresión. Elaboración propia.

11. Conectar la impresora a una fuente de alimentación y encenderla.



Figura 82: Fuente de alimentación de la impresora. Elaboración propia.

12. Conectar el USB en la ranura correspondiente.



Figura 83: Colocación del USB. Elaboración propia.

13. Colocar el material que se va a utilizar en su lugar correspondiente.

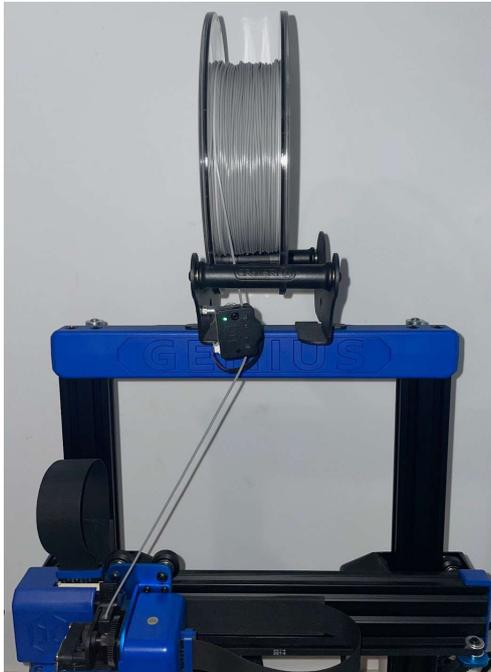


Figura 84: Colocación del material adecuadamente. Elaboración propia.

14. El siguiente paso, es muy importante ya que se trata de la calibración de la cama caliente. Mediante el panel de control, aparecen 5 puntos en la pantalla los cuales están relacionados con una posición. Se debe ir presionando cada punto uno, y cuando el extrusor ya se encuentra en ese punto, con ayuda de una hoja se debe colocar entre la cama y la boquilla para notar el roce de esta contra la cama. En el caso de que el material no se deslice con facilidad se debe mover la cama gracias a unas pequeñas ruedas que hay debajo de esta, hasta que la hoja se deslice con facilidad pero notando el tacto de la boquilla. Ese proceso se debe realizar con los cinco puntos.

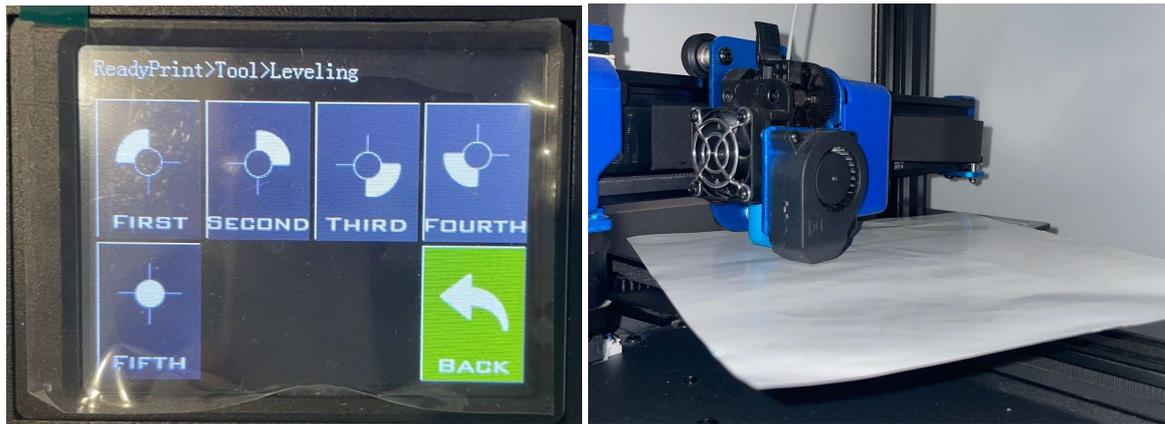


Figura 85: Imágenes correspondientes a la calibración de la cama caliente. Elaboración propia.

15. Posteriormente, la propia impresora tiene una opción de autonivelación, por tanto se presiona y procede a realizar el proceso. Una vez ha finalizado, se presiona el botón Z=0, lo que provoca que el extrusor se mueva al centro de la cama caliente, y en esta posición se vuelve a realizar el paso del papel, para ver si la calibración es adecuada. En el caso de que el papel se deslice fácilmente, se puede pasar al siguiente paso. Por el contrario, si el papel no se mueve o la boquilla hace presión contra la cama impidiendo su paso, se deben presionar los comandos Z=+0,025 o Z=-0,025 lo que provoca que el extrusor se mueva hacia arriba o hacia abajo dependiendo del rozamiento. Cuando se obtiene el rozamiento adecuado se puede continuar con el proceso.

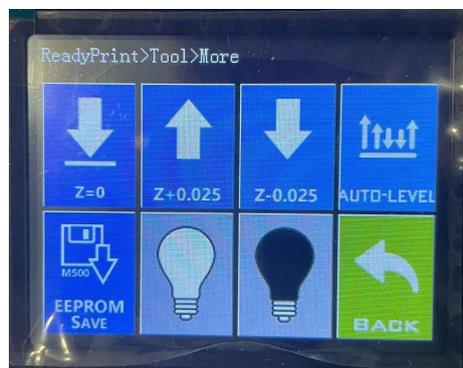


Figura 86: Autocalibración de la impresora. Elaboración propia.

16. A continuación, se deben calentar el extrusor y la cama caliente si el material lo exige. En este caso, hay un comando "heat" con el cual se establece la temperatura de estas dos piezas, y como se ha mencionado anteriormente esta temperatura viene indicada por el material. De este modo, se establecen los valores indicados y se deja actuar.

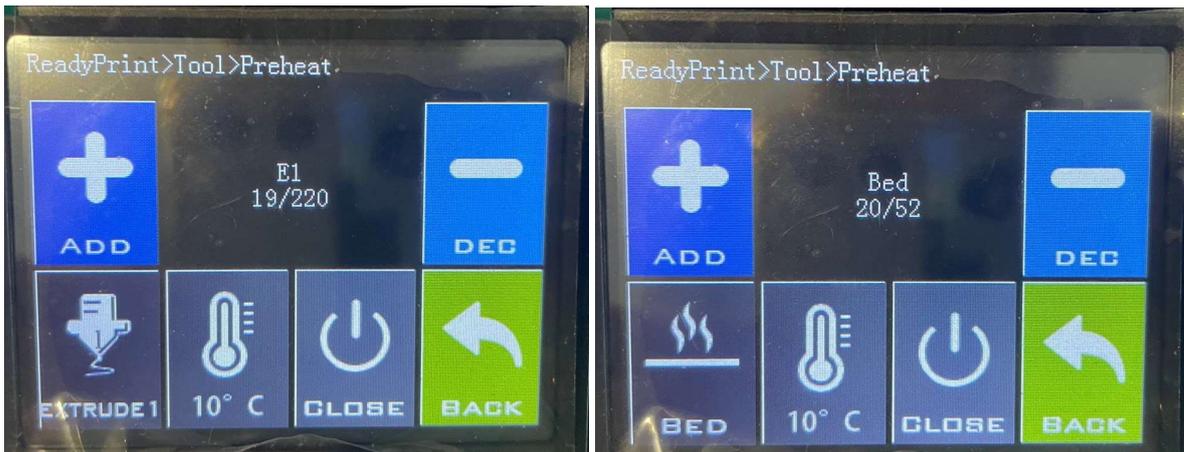


Figura 87: Imágenes de controles de temperatura del extrusor y la cama caliente. Elaboración propia.

17. Una vez que la cama está calibrada y el extrusor va cogiendo temperatura, el siguiente paso es la localización del archivo de la pieza. Donde una vez que se ha encontrado dentro del comando "Print", se selecciona y se aprieta "Confirm".

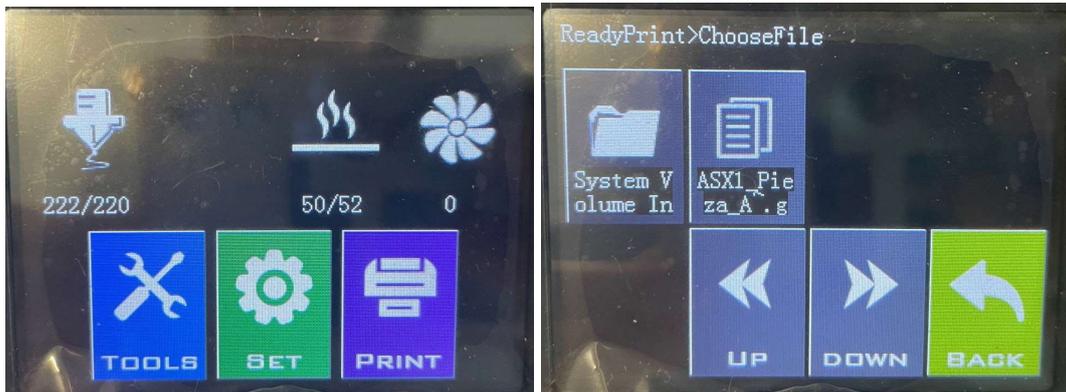


Figura 88: Imágenes para seleccionar la pieza a imprimir. Elaboración propia.

18. Llegados a este punto cuando el extrusor y la cama hayan alcanzado la temperatura adecuada, la impresora se pondrá a realizar la pieza.
19. Cuando el proceso de impresión ha finalizado, se retira la pieza de la cama y se apaga la impresora.

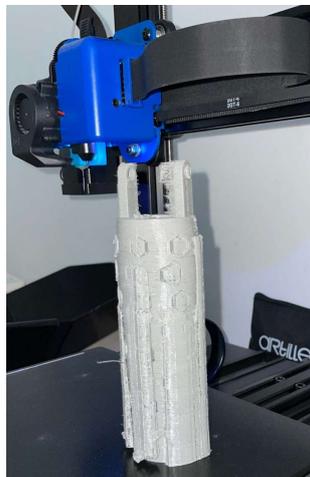


Figura 89: Pieza final impresa. Elaboración propia.

1.10.2.2. Viabilidad económica

En el caso de la viabilidad económica, es cierto que hay una serie de factores que afectan al producto final y que provocan el incremento del precio. Sin embargo, en este apartado solo se va a realizar un presupuesto teniendo en cuenta aquello que solo hace referencia a la prótesis, es decir, la materia prima y la maquinaria utilizada para el proceso de fabricación. De este modo, en la siguiente tabla se pueden observar el precio de fabricación que tendría la prótesis, en el caso de no considerar el transporte, los gastos generales, el beneficio industrial, el IVA%, ni el beneficio del diseñador. El presupuesto con todos los gastos establecidos se puede encontrar en el apartado 6. Mediciones y presupuestos.

Tabla 15: Presupuesto del coste de la prótesis.

PRÓTESIS					
MATERIA PRIMA					
REF	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (€)	TOTAL
1	FilaFlex 82A	g	513	0,0675€/g	34,6275€
2	PLA	g	55	0,0438€/g	2,4090€
3	Velcro con hebillas	m	5	2,24€/paquete	2,24€
4	Pegamento	g	5	0,7250 €/g	3,625€
PROCESO DE FABRICACIÓN					
REF	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO AMORTIZACIÓN MÁQUINA	TOTAL
3	Impresora 3D	h	75	250€ (5 años) 0,0057€/h	0,4275€
TOTAL PRECIO			43,329€		

1.10.3. Análisis estructural

La realización del análisis estructural del objeto que se ha llevado a cabo en este proyecto se ha ejecutado con el software de ANSYS Workbench.

En primer lugar, para poder utilizar este software es necesario tener el diseño en un modelo 3D, y para el modelado de la prótesis se ha utilizado el programa de SolidWorks. En este punto del trabajo es importante tener en cuenta, que para poder hacer uso del software, el modelo 3D se debe guardar bajo el dominio de IGES.

A continuación, después de la obtención del modelo 3D ya se puede iniciar el estudio estructural en el cual se van a estudiar las distintas cargas que puede sufrir el objeto en su respectivo entorno.

La manera de proceder para el estudio es la siguiente:

1. Al abrir el software se debe seleccionar el tipo de estudio que se va a realizar, en este caso se trata de un estudio estático del objeto, de este modo, se va a hacer doble click sobre "Static Structural"
2. Seguidamente, en el caso de utilizar materiales que no se encuentran en la base del programa, se procede a crear los materiales, de los cuales se van a necesitar una serie de datos específicos como los que se muestran en la tabla inferior. En el caso de la prótesis, al fabricarse con Filaflex y PLA, estos dos materiales se han introducido al software. Los valores que se observan en la tabla se han obtenido de las fichas técnicas de los materiales que se encuentran en el apartado 2.6.[47]

Tabla 16: Propiedades de los materiales a insertar en ANSYS.

MATERIALES		
	FILAFLEX	PLA
Densidad	1,12 g/cm ³	1,38 g/cm ³
Módulo de Young	22 MPa	3400 MPa
Poisson Ratio	0,3897	0,349

Propiedades of Outline Row 3: FILAFLEX			
	A	B	C
	Property	Value	Unit
2	Material Field Variables	Table	
3	Density	1,12	g cm ⁻³
4	Isotropic Elasticity		
5	Derive from	Young's Modulus and Poisson...	
6	Young's Modulus	22	MPa
7	Poisson's Ratio	0,3897	
8	Bulk Modulus	3,5243E+07	Pa
9	Shear Modulus	7,9154E+06	Pa

Figura 90: Inserción de las propiedades del Filaflex. Elaboración propia.

Properties of Outline Row: 4: PLA				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	1,38	g cm ⁻³	
4	Isotropic Elasticity			
5	Derive from	Young's Modulus and Poisson...		
6	Young's Modulus	3400	MPa	
7	Poisson's Ratio	0,349		
8	Bulk Modulus	3,7528E+09	Pa	
9	Shear Modulus	1,2602E+09	Pa	

Figura 91: Inserción de las propiedades del PLA. Elaboración propia.

- Una vez que los materiales están creados, se importa la geometría. Y posteriormente se clicca dos veces sobre "Model" para poder abrir el software de análisis.

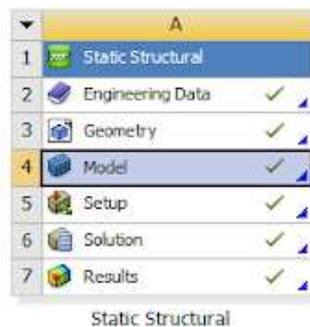


Figura 92: Captura de pantalla del programa ANSYS. Panel principal. Elaboración propia.

- En cuanto el programa ya muestra la pantalla donde se encuentran todos los comandos de modificación, la opción que se va a desplegar es la geometría. Dentro de este apartado aparecen todas las piezas y es donde se procede a realizar la asignación del material a cada pieza que se ha especificado en el punto 1.11.2.1.2.

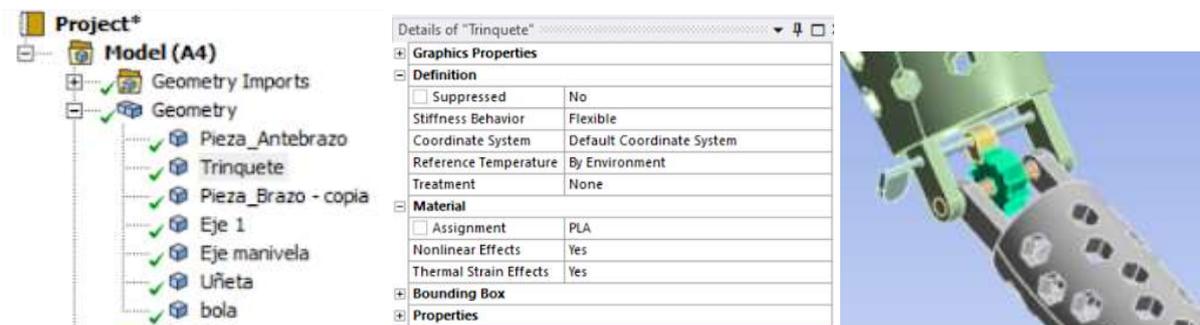


Figura 93: Imágenes correspondientes a la inserción de los materiales en cada pieza. Elaboración propia.

- Después de la asociación de cada material a sus respectivas piezas, el siguiente paso está relacionado con el mallado, este es un proceso en el cual se crea una red de elementos finitos que están interconectados entre ellos. Este mallado es crucial para obtener unos resultados adecuados, ya que depende de la calidad de esta malla, los resultados pueden ser más o menos precisos. Para saber si el mallado es bueno, la calidad de este debe ser superior a 0,7. En las imágenes inferiores se puede observar que aplicado un mallado de 10 mm o 20 mm, se obtiene una calidad de malla de 0,75, por tanto es buena y se puede continuar con el estudio.

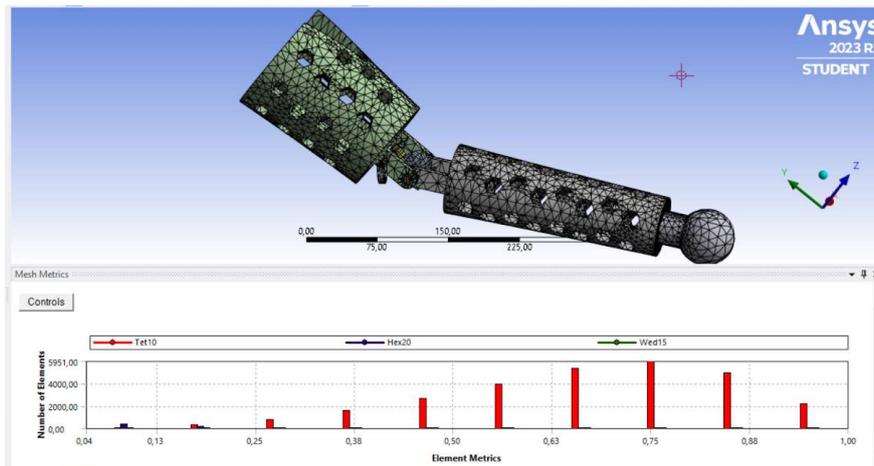


Figura 94: Captura de pantalla de ANSYS, con la aplicación de la malla de 10mm. Elaboración propia.

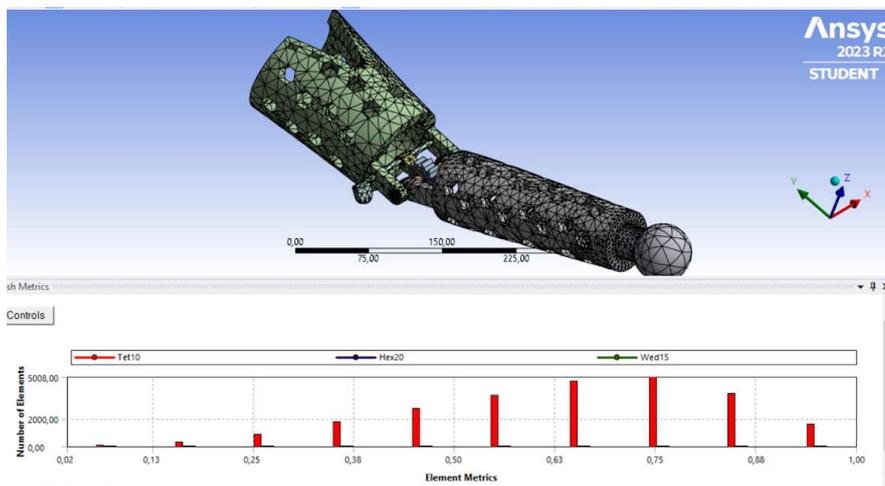


Figura 95: Captura de pantalla de ANSYS, con la aplicación de la malla de 20mm. Elaboración propia.

- El siguiente paso que se debe realizar es la aplicación de las cargas y las partes fijas, para observar cómo se comporta el objeto bajo ciertas cargas. En cuanto al soporte, se ha seleccionado la parte interior de la parte sustitutiva perteneciente al brazo, es decir, donde va el muñón. Por otro lado, las condiciones de carga que se van a aplicar van a ser dos distintas.

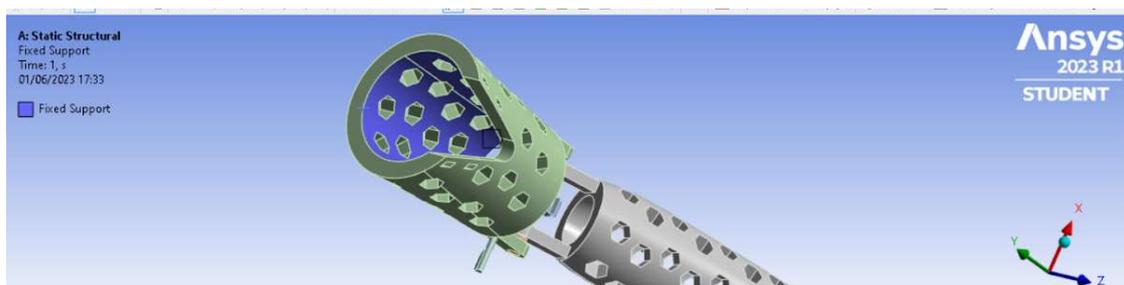


Figura 96: Captura del programa de ANSYS, para observar el soporte fijo del producto. Elaboración propia.

Restricción de carga 1: En este caso la fuerza que se va a aplicar va a ser en la zona de la manivela, la cual realiza el movimiento de giro de la uñeta. y la fuerza que se aplica en esta zona está determinada por la fuerza de aplicación que se hace mediante el movimiento de pinza de los dedos índice y pulgar. [48]

Fuerza de aplicación por cada lado de 15N.

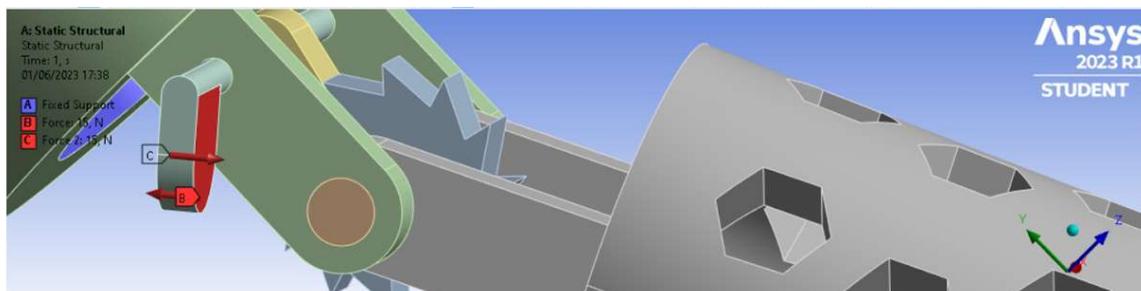


Figura 97: Captura del programa de ANSYS, para observar la fuerza de aplicación 1. Elaboración propia.

Restricción de carga 2: Para este segundo análisis, se ha establecido que la prótesis podría soportar una carga de 2Kg. Esta carga ha surgido de la necesidad de llevar peso al pasear o cargar con un objeto o bolsa.

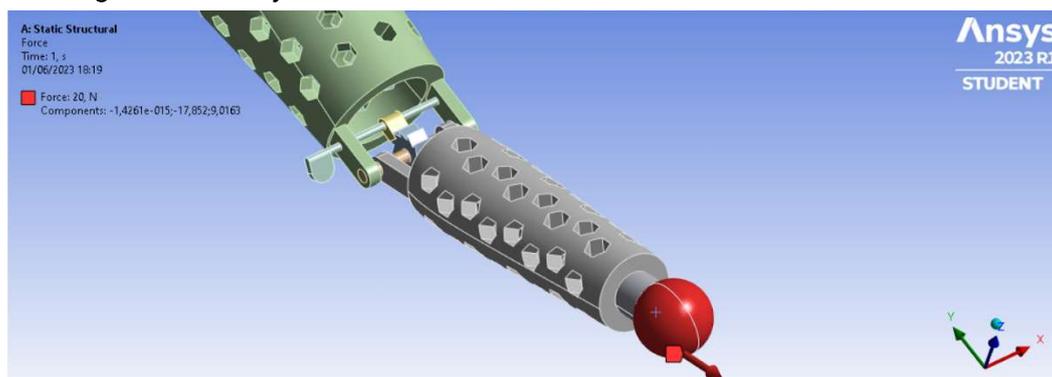


Figura 98: Captura del programa de ANSYS, para observar la fuerza de aplicación 2. Elaboración propia.

7. Después de la aplicación de las condiciones de carga, se procede a obtener los resultados de los dos análisis, de los cuales se deben extraer la deformación y la tensión que va a sufrir el objeto.

Resultados condiciones de carga 1:

Deformación: Del primer caso, la deformación que se observa es muy pequeña en comparación con el objeto ya que es de $9,332 \times 10^{-5}$ mm. De este modo se podría decir que es un valor que no se apreciaría en la realidad a la hora de su manipulación.

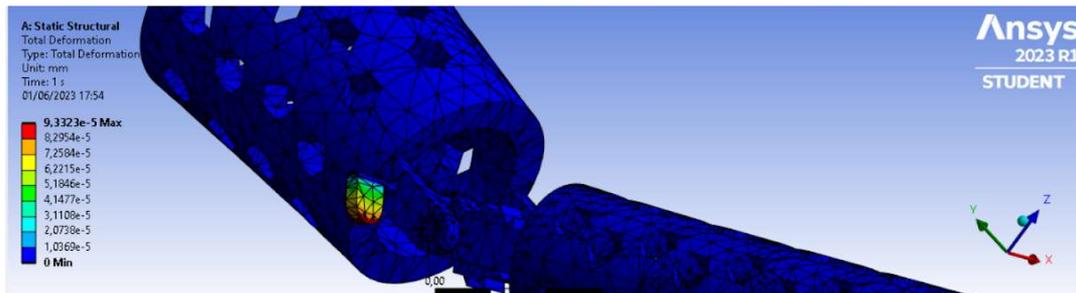


Figura 99: Captura del programa de ANSYS, para observar la deformación de la fuerza 1. Elaboración propia.

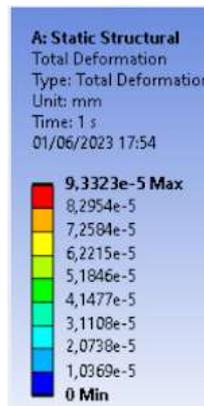


Figura 100: Captura de pantalla de ANSYS, para ampliar el resultado de la deformación de la fuerza 1. Elaboración propia.

Tensión: La tensión que sufre la manivela cuando se presiona con los dedos es de 0,0466 MPa, y esta se considera muy baja respecto al límite elástico del material. Por tanto, se puede afirmar que es una carga que este material puede soportar sin ninguna dificultad.

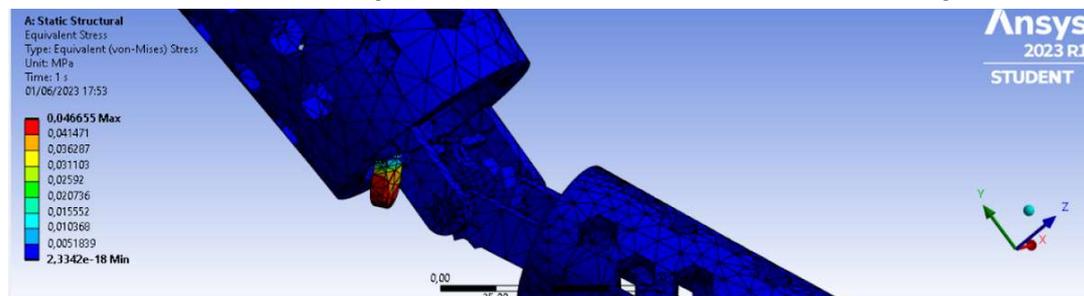


Figura 101: Captura del programa de ANSYS, para observar la tensión de la fuerza 1. Elaboración propia.

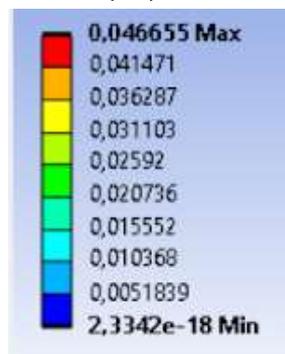


Figura 102: Captura de pantalla de ANSYS, para ampliar el resultado de la tensión de la fuerza 1. Elaboración propia.

Resultados condiciones de carga 2:

- **Deformación:** En este segundo estudio de la carga, si que se puede observar que el material sufre una deformación más notoria que en el caso anterior, ya que el valor de esta alteración es de 4,2809 mm. Es cierto, que se considera un valor pequeño que si se podría visualizar en la realidad, pero bajo una herramienta de medición.

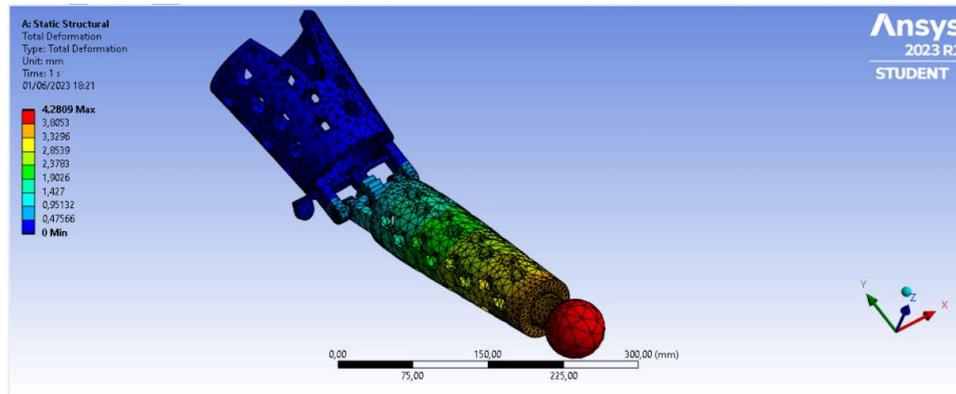


Figura 103: Captura del programa de ANSYS, para observar la deformación de la fuerza 2. Elaboración propia.



Figura 104: Captura de pantalla de ANSYS, para amplificar el resultado de la deformación de la fuerza 2. Elaboración propia.

- **Tensión:** Por el contrario, la tensión de este esfuerzo tiene un valor mayor respecto al caso anterior. Sin embargo, este resultado no significa que al soportar esta carga el material se vaya a facturar. Si no, que la tensión de 0,2116 MPa es bastante pequeña en comparación con el límite elástico del material, que son 22 MPa.

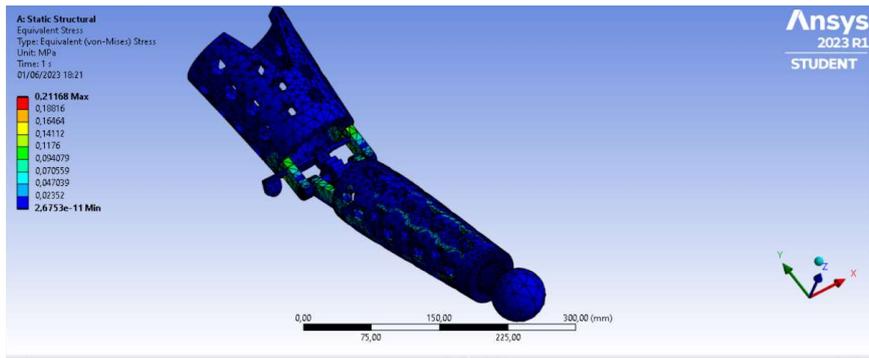


Figura 105: Captura de pantalla de ANSYS, para observar la tensión de la fuerza 2. Elaboración propia.

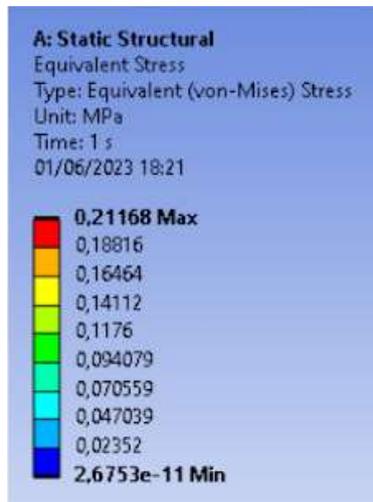


Figura 106: Captura de pantalla de ANSYS, para ampliar el resultado de la tensión de la fuerza 2. Elaboración propia.

1.11. PRODUCTO FINAL

El producto final de este proyecto es una prótesis de extremidad superior que puede ajustarse a cualquier tipo de muñón gracias al material de fabricación el cual cuenta con un grado de flexibilidad. Además, está compuesta por los mínimos elementos posibles para que exista una parte funcional, donde el usuario puede hacer uso del antebrazo mediante distintos ángulos. Por otro lado, la estructura hueca hexagonal le otorga liviandad a todo el conjunto de los elementos, pero también es lo suficientemente resistente como para que pueda soportar peso y deformaciones. Otro aspecto que se debe destacar es la posibilidad de añadir distintos accesorios a la prótesis dependiendo de la acción que se quiera realizar. El proceso de fabricación del producto final también es importante, ya que gracias a este se puede obtener la prótesis en un máximo de 4 días, y la personalización de esta también es posible, ofreciendo al usuario la oportunidad de diseñar la prótesis a su gusto.

A continuación se pueden observar algunas imágenes respecto al producto final.



Figura 107: Render del producto final. Elaboración propia.



Figura 108: Detalle de los elementos que proporcionan la funcionalidad. Elaboración propia.



Figura 109: Render de prótesis perspectiva. Elaboración propia.

1.11.1. Objetivos de Desarrollo Sostenible

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible se crearon en 2015 por las Naciones Unidas para dar a conocer todas aquellas acciones que promueven la desigualdad entre personas y perjudican al planeta, para intentar concienciar a la sociedad de los problemas mundiales. Son 17 objetivos que se describen deben intentar cumplirse para 2030, y así garantizar la prosperidad de la sociedad y el planeta.

A continuación se encuentra una imagen de estos 17 problemas que existen en el mundo y deben intentar erradicarse del mundo.



Figura 110: Objetivos de Desarrollo Sostenible [103]

Como diseñador industrial realizar un rediseño o desarrollar un nuevo producto, se deben tener en cuenta estos objetivos en el diseño. Por ello, a continuación se van a exponer aquellos ODS que la prótesis satisface.

En primer lugar, si se analizan los problemas por orden el tercer objetivo está relacionado con la prótesis, ya que es un producto que está enfocado al bienestar de las personas. Este nuevo diseño puede ayudar a personas a facilitarle tareas en su día a día.



Figura 111: Objetivo 3 de los ODS. [103]

Seguidamente, otro ODS que satisface la prótesis es la reducción de las desigualdades, ya que con el nuevo producto se pretende que aquellas personas que hagan uso de este producto puedan reinserirse de forma adecuada.



Figura 112: Objetivo 10 de los ODS. [103]

Otros dos objetivos que están relacionados con la prótesis y entre sí son el 9 y el 12, ya que en estos dos se incita a la continuidad de las empresas, así como también la innovación de los productos. Sin embargo, también se requiere que la fabricación y el consumo sean adecuados, utilizando materias primas que se puedan reutilizar, reciclar y reducir la huella de carbono.



Figura 113: Objetivos 9 y 12 de los ODS. [103]

1.12. CONCLUSIONES

Este proyecto surgió de la inquietud de poder juntar dos campos que siempre se han separado dentro del mundo estudiantil, la parte biológica y la parte tecnológica. Por ello durante el desarrollo de este trabajo, se ha podido analizar como la compatibilidad entre dos sectores puede ser beneficiosa para la sociedad.

El producto desarrollado quiere ser una ayuda para aquellas personas donde su vida cotidiana se ve afectada por la falta de una extremidad superior. Por consiguiente, el resultado que se pretendía obtener según los tres objetivos principales era una prótesis funcional, estética y psicológica.

Se introduce por tanto un dispositivo protésico que satisface de forma adecuada los tres objetivos principales, teniendo una parte estética a causa del diseño exterior, una parte funcional otorgada por los elementos móviles, y la parte psicológica por reestructurar la imagen corporal externa.

En lo que respecta a la parte estética se cubre por la utilización de un patrón hexagonal inspirado en la naturaleza y cómo esta forma se adapta a las distintas superficies.

En el apartado funcional, se ha aportado una solución sencilla que solventa la movilidad entre las partes de la prótesis, ofreciendo al usuario la oportunidad de realizar algunos movimientos.

Otros aspectos a destacar, son los materiales utilizados para el desarrollo del producto ya que son reciclables, ligeros y baratos. Ello facilita el compromiso sostenible del nuevo producto con el planeta.

Como proceso de fabricación la impresión 3D, sigue siendo un sector en evolución con excelentes resultados y propiedades, que han provocado que sea el proceso de fabricación seleccionado para la prótesis.

2. ANEXOS

2.1. PLIEGO DE CONDICIONES INICIALES

Antecedente: La obtención de la prótesis para un paciente supone un gasto elevado para este, ya que se trata de dispositivos altamente personalizables, únicos e intransferibles. De este modo, se propone el diseño de una prótesis de bajo coste que se pueda amoldar a los distintos pacientes. Este descenso del coste se pretende conseguir mediante el proceso de fabricación el cual consiste en la fabricación aditiva, y más concretamente la tecnología FFF.

Objeto del proyecto: El objeto del trabajo consiste en el diseño de un nuevo dispositivo protésico, del cual se va a realizar una descripción técnica. Seguidamente, se realizarán una serie de análisis en base a los materiales que mejor se ajusten al modelo definitivo, así como también al método de fabricación elegido.

Justificación: El estudio previo que se realiza antes de obtener el diseño definitivo es necesario para poder adecuar el producto a las necesidades expuestas a continuación:

NECESIDADES:

- ESTÉTICAS
 - Atractivo a la venta
 - Adecuada para ambos sexos
 - Mínimos componentes
 - Fácil de limpiar
- MATERIALES
 - Se pretende que los materiales que se vayan a utilizar sean reciclables, fáciles de limpiar y que cumplan con la normativa vigente.
- DIMENSIONES
 - Deben ajustarse al público objetivo al que va dirigido el producto (personas adultas que han pasado por una cirugía de amputación o personas adultas con malformaciones cognitivas)
- ERGONOMÍA
 - El usuario debe hacer el mínimo esfuerzo cuando interactúa con el nuevo producto.
- ACABADO
 - La superficie final del objeto debe ser adecuada al entrar en contacto con la piel.
- PESO
 - Se requiere que sea un producto lo más ligero posible.
- TÉCNICAS
 - Piezas resistentes
 - Los ensamblajes y las uniones deben ser lo más sencillas posibles adecuadas a su misión.
- DURACIÓN
 - La vida útil del nuevo producto se pretende que sea máxima.
- PRECIO
 - El precio máximo será de 150€
- MANTENIMIENTO

- Movimientos sencillos para realizar la limpieza, es decir, accesibilidad sencilla.
- Recambios de las piezas.

Mercado: el desarrollo de este producto captará la atención de aquellas personas del público objetivo que por diversas razones, la gran mayoría, económicas no pueda permitirse una prótesis personalizada, pero quiera tener probar la utilización de un dispositivo protésico.

Mercado final del producto: en una primera instancia está principalmente dirigido al mercado nacional.

Consumidores de referencia: A personas adultas de entre 18 y 65 años, que sufren la patología de una amputación o una deformación cognitiva, y no tengan un presupuesto elevado a la hora de comprar una prótesis.

Necesidades del usuario: estos datos están explicados con anterioridad en el apartado de NECESIDADES.

2.2. MOODBOARD

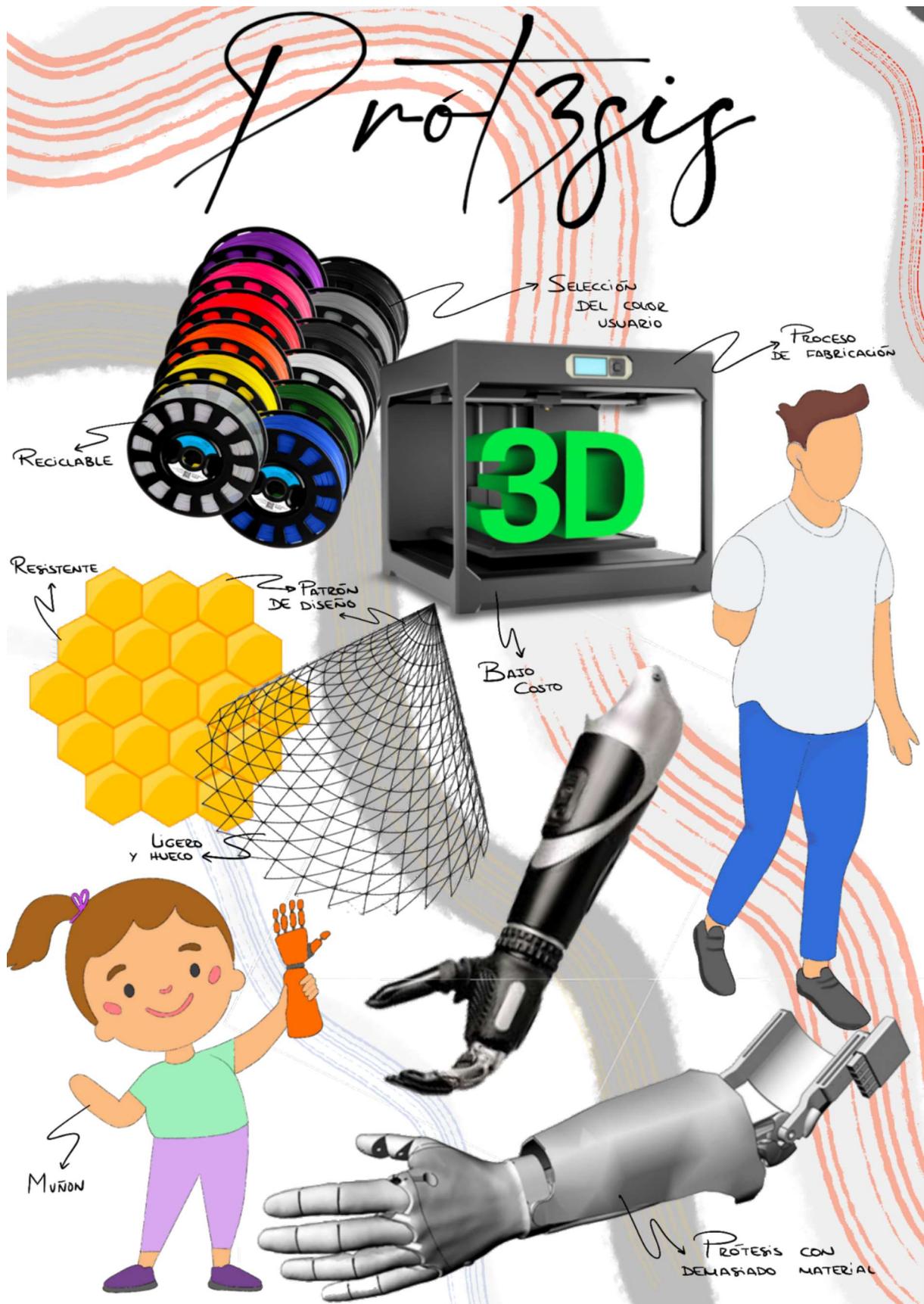


Figura 114: Moodboard. Elaboración propia.

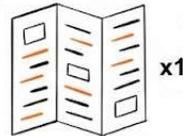
2.5. INSTRUCCIONES DE USO



INSTRUCCIONES DE USO

Antes de hacer uso de la prótesis es recomendable que se lea todas las instrucciones

COMPONENTES DE LA PRÓTESIS



PASO A PASO

1. Extraer todos los componentes del envase.



2. Leer detenidamente toda información de las instrucciones de uso.



3. Colocar la prótesis encima de una superficie plana.



4. Verificar que el muñón o el encaje están completamente limpios.



5. Desatar las cintas de velcro



6. Colocar el muñón en la parte brazo de la prótesis.



7. Acomodar la prótesis al muñón de la manera más cómoda para el usuario.



8. Ajustar las tiras de velcro a la medida deseada.



9. Para flexionar la prótesis debe ayudarse con la otra extremidad.



Figura 117: Cara delantera de las instrucciones de uso. Elaboración propia.

10. Para desencajar el ángulo de la prótesis, se debe girar la manivela hasta que la prótesis se encuentre en la posición deseada.



11. En caso de tener un accesorio. Colocar el accesorio antes de ponerse la prótesis.



12. Colocar el accesorio aplicando una fuerza.



13. Una vez este insertado adecuadamente, ya puede hacer uso de este.



HIGIENE DE LA PRÓTESIS

1. No utilizar cremas, lociones o polvos en exceso entre el muñón y la prótesis.



2. La prótesis se debe limpiar cada 3/4 días.



4. La prótesis se puede limpiar con un trapo húmedo. O se puede mojar, y aplicar un jabón neutro y después secar totalmente la superficie.



5. No utilizar producto químicos ácidos, lascas, hidrocarburos o tintas porque pueden estropear la superficie de la prótesis.



ADVERTENCIAS

1. Antes de hacer uso de la prótesis, comprobar el estado de la piel.
2. No utilizar ni acercar fuentes de calor a la prótesis ya que se pueden deformar los componentes.
3. En caso de rotura de algún elemento de la prótesis debe ir a la empresa de venta.

Figura 118: Cara trasera de instrucciones de uso. Elaboración propia.

2.6. FICHAS TÉCNICAS DE LOS MATERIALES

● FILAFLEX 82A

TECHNICAL DATA SHEET

FILAFLEX 82A ORIGINAL

Description

Filaflex is a Thermoplastic Polyether-Polyurethane elastomer with additives that allow high printability FDM printers. Filaflex® has a remarkable hydrolysis resistance, high resistance to bacteria and high temperature flexibility properties in printed parts.

Physical Property	Value	Unit	Test method according to
Material density	1.12	g/cm ³	ISO 1183
Mechanical Property	Value	Unit	Test method according to
Hardness	82	shore A	DIN ISO 7619-1 (3s)
	31	shore D	
Tensile modulus (Young)	22	MPa	ISO 527
Tensile strength	45	MPa	DIN 53504-S2
Elongation at break	650	%	DIN 53504-S2
Stress at 20% elongation	1.1	%	DIN 53504-S2
Stress at 100% elongation	6	%	DIN 53504-S2
Stress at 300% elongation	10	%	DIN 53504-S2
Tear strength	70	N/mm	ISO 34-1
Abrasion resistant	25	mm ³	ISO 4649
Compression set 23°C/72 hours	25	%	ISO 815
Compression set 70°C/24 hours	45	%	ISO 815
Tensile strength after storage in water at 80°C f	32	Mpa	DIN 53504-S2
Elongation at break after storage in water at 80	600	%	DIN 53504-S2
Notched impact strength (Charpy)n at +23°C	nb	kJ/m ²	ISO 179
Notched impact strength (Charpy)n at -30°C	nb	kJ/m ²	ISO 179
Tensile notched impact strength, +23°C	580	kJ/m ²	ISO 8256/1
Abrasion loss	25	mm ³	ISO 4649
Thermal Property	Value	Unit	Test method according to
Combustibility O2 index	23	%	ISO 4589-1/-2
Burning behaviour	HB	CLASS	UL 94
Yellow Card Available	yes		
Glass Transition Temperature 10°C/min	-42	°C	ISO 11357-1/-2
VST Vicat Softening Temperature	113	°C	Método Vicat A: 10 Nw, 120°C/h
Thermal Conductivity	0.3	W/(mK)	DIN 52612-1
Coefficient Thermal Expansion at 23°C	210	1/K	ISO 11359-2
Electrical Property	Value	Unit	Test method according to
WDD Water Vapor Permiability	17	g/m ² d	ISO 15106-2
Dielectric factor 1MHz	6		IEC 62631-2-1
Dissipation factor, 100Hz	300	E-4	IEC 62631-2-1
Dissipation factor, 1MHz	950	E-4	IEC 62631-2-1
Volume resistivity	1,00E+10	Ohm*m	IEC 62631-3-1
Electric strength	35	kV/mm	IEC 60243-1
CTI Comparative tracking index	600		IEC 60112
Printing properties	Recommended		
Printing temperatures	215 - 250°C		
Printing speed	20 - 60 mm/s		
Hot-bed temperature	0°C		
Optimal layer height	0.2 mm		
Minimal nozzle diameter	0.4 mm or higher		
Retraction parameters	3.5 - 6.5 mm (speed 20 - 160 mm/s)		

Figura 119: Ficha técnica del material Filaflex de la empresa Recreus.

- **PLA**

TECHNICAL DATA SHEET

PLA

Description

Recreus PLA is a compound based on polylactic acid and belongs to the family of thermoplastic polyesters derived from renewable resources. These come from the fermentation of agricultural by-products such as cornstarch or other carbohydrate-rich. An ideal filament for extrusion in FDM 3D printers.

Physical Property	Value	Unit	Test method according to
Material density	1,38	g/cm3	ISO 1183
Mechanical Property	Value	Unit	Test method according to
MEF Flexural Modulus Elasticity	3500	MPa	ISO 178
Tensile modulus (Young)	3400	MPa	ISO 527
Tensile strength	14	MPa	ISO 527
Elongation at break	40	%	ISO 527
Notched impact strength (Charpy)n at +23°C	7	kJ/m2	ISO 179
Notched impact strength (Charpy)n at -30°C	5	kJ/m2	ISO 179
Izod impact strength (23°C notched)	NR	kJ/m2	ISO 179
Thermal Property	Value	Unit	Test method according to
HDT (01,82MPa)	50	°C	ISO 75-2
Printing properties	Recommended		
Printing temperatures	215 - 225°C		
Printing speed	20 - 100 mm/s		
Hot-bed temperature	40-60°C		
Optimal layer height	0.2 mm		
Minimal nozzle diameter	0.1 (0.4 mm or higher recommended)		
Retraction parameters	3.5 - 6.5 mm (speed 20 - 160 mm/s)		

Figura 120: Ficha técnica del material PLA de la empresa Recreus.

• PE

CARACTERÍSTICAS	MÉTODO DE ENSAYO	UNIDADES	VALOR
MECÁNICAS			
Densidad	DIN 53 479	g/cm ³	0,96-0,96
Esfuerzo en el punto de fluencia	DIN 53 455	MPa	24-31
Alargamiento a la rotura	DIN 53 455	%	400-800
Módulo de elasticidad a la tensión	DIN 53 457	MPa	1000-1400
Dureza de penetración a la bola (30s)	DIN 53 457	MPa	45-60
Resistencia al impacto	DIN 53 453	kJ/m ²	No rompe
Coefficiente dinámico de fricción		N/mm ²	0,29
TÉRMICAS			
Punto de fusión	DIN 53 736	°C	126-133
Temperatura de transición vítrea	DIN 53 736	°C	-95
Temperatura de servicio máxima en periodos breves		°C	120
Temperatura de servicio máxima en periodos largos		°C	90
Conductividad térmica (23°C)		W (k.m)	0,35-0,43
Capacidad calorífica específica (23°C)		J (g.k)	1,7-2
Coefficiente de dilatación lineal (23°C)		10 ⁻⁵ 1k	13-15

ELÉCTRICAS			
Coefficiente dieléctrico (106 Hz)	DIN 53 483		2,4
Factor de disipación	DIN 53 483		0,0002
Resistencia específica de paso	DIN 53 483		>10 ¹⁶
Resistencia dieléctrica	DIN 53 481	Ohm	150
Resistencia a corrientes parásitas	DIN 53 480		KA 3c

Figura 121: Ficha técnica del material PE.

2.7. ESTUDIO ERGONÓMICO Y ANTROPOMÉTRICO

- Longitud hombro-codo

<p>Figura 23.- Longitud hombro-codo</p> 	<p>Descripción: Distancia vertical desde el acromión hasta el punto más bajo del codo flexionado en ángulo recto, con el antebrazo horizontal.</p> <p>Método: El sujeto se sitúa sentado, erguido, con los muslos perfectamente apoyados y las piernas colgando libremente. Los brazos colgando libremente hacia abajo y los antebrazos en posición horizontal.</p> <p>Instrumento: Antropómetro (pie de rey grande)</p> <p>Consideraciones de aplicación Longitud del brazo como referencia para determinar alcances con los brazos flexionados.</p>
--	---

Figura 122: Medida longitud hombro codo. [34]

- Longitud codo-muñeca

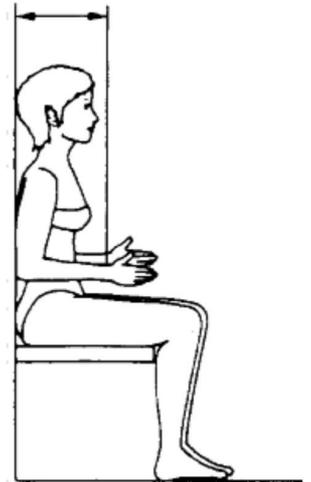
<p>Figura 24.- Longitud codo-muñeca</p> 	<p>Descripción: Distancia horizontal desde la pared hasta la muñeca (apófisis estiloides del cúbito).</p> <p>Método: El sujeto se sitúa sentado o de pie, erguido y con la espalda contra la pared. Los brazos colgando libremente hacia abajo, los codos tocando la pared y los antebrazos horizontales.</p> <p>Instrumento: Antropómetro</p> <p>Consideraciones de aplicación En dimensionamiento y tallas de vestuario o protecciones.</p>
--	---

Figura 123: Medida longitud codo muñeca. [34]

- Anchura del codo

<p>Figura 62.- Anchura del codo</p> 	<p>Descripción: Máxima anchura del codo</p>
	<p>Método: El sujeto se sitúa, con el brazo en horizontal y el antebrazo en vertical, flexionado 90°. El dorso de la mano mira hacia delante. Se mide sentado o de pie.</p>
	<p>Instrumento: Compás de espesores.</p>
	<p>Consideraciones de aplicación En dimensionamiento y tallas de vestuario. Tamaño y separación de los reposabrazos</p>

Figura 124: Anchura del codo. [34]

- Longitud de la mano

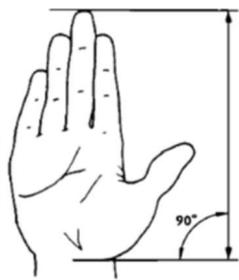
<p>Figura 35.- Longitud de la mano</p> 	<p>Descripción: Distancia perpendicular medida desde una línea recta trazada entre las apófisis estiloides hasta la punta del dedo medio.</p>
	<p>Método: El sujeto mantiene el antebrazo horizontal con la mano totalmente extendida y plana y la palma hacia arriba. El punto de medida, a la altura de la apófisis estiloide, corresponde aproximadamente a la arruga media de la muñeca.</p>
	<p>Instrumento: Pie de rey</p>
	<p>Consideraciones de aplicación Referencia en herramientas manuales, mangos y protecciones para las manos (guantes). La longitud de la mano sirve como referencia para obtener medidas de alcance con la yema de los dedos a partir de medidas de agarre, o viceversa. Para ello, puede sumarse o restarse el 60 % de la longitud de la mano. Si la acción es de agarre, en lugar de ser completa, se considera con la punta de los dedos, sustraer el 20 % de la longitud. Pueden considerarse correcciones por el uso de guantes y por la forma adoptada por la mano en la manipulación de herramientas.</p>

Figura 125: Longitud de la mano. [34]

- Longitud perpendicular de la palma de la mano

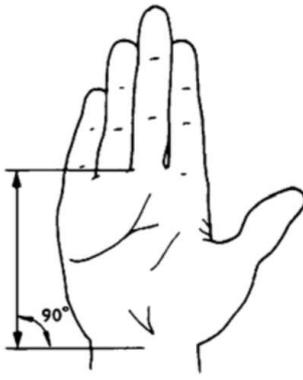
<p>Figura 36.- Longitud perpendicular de la palma de la mano</p> 	<p>Descripción: Distancia medida desde una línea recta trazada entre las apófisis estiloides hasta la arruga proximal del dedo medio en la palma de la mano.</p>
	<p>Método: El sujeto mantiene el antebrazo horizontal con la mano totalmente extendida y plana y la palma hacia arriba. La medida se toma sobre la superficie de la palma de la mano.</p>
	<p>Instrumento: Pie de rey</p>
	<p>Consideraciones de aplicación Referencia en herramientas manuales, mangos y protecciones para las manos (guantes). Pueden considerarse correcciones por el uso de guantes</p>

Figura 126: Longitud perpendicular de la palma de la mano. [34]

- Anchura de la mano en los nudillos

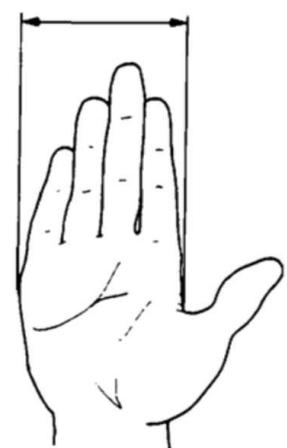
<p>Figura 37.- Anchura de la mano en los metacarpianos</p> 	<p>Descripción: Distancia entre los metacarpianos radial y cubital, medida entre las cabezas del segundo y quinto metacarpiano.</p>
	<p>Método: El sujeto mantiene el antebrazo horizontal con la mano totalmente extendida y plana y la palma hacia arriba.</p>
	<p>Instrumento: Pie de rey</p>
	<p>Consideraciones de aplicación Referencia en herramientas manuales: anchura mínima para empuñaduras, mangos y aberturas para introducir la mano. Pueden considerarse correcciones por el uso de guantes y por la forma adoptada por la mano en la manipulación de herramientas.</p>

Figura 127: Anchura de la mano en los metacarpianos. [34]

- Longitud del dedo índice

<p>Figura 38.- Longitud del dedo índice</p> 	<p>Descripción: Distancia desde la punta del dedo índice hasta la arruga proximal en la palma de la mano.</p>
	<p>Método: El sujeto mantiene el antebrazo horizontal con la mano totalmente extendida y plana, los dedos extendidos y la palma hacia arriba. La medida se toma sobre la superficie de la palma de la mano.</p>
	<p>Instrumento: Pie de rey</p>
	<p>Consideraciones de aplicación Guantes, distancias de seguridad en orificios en los que cabe un dedo.</p>

Figura 128: Longitud del dedo índice [34]

- Anchura proximal del dedo índice

<p>Figura 39.- Anchura proximal del dedo índice</p> 	<p>Descripción: Distancia máxima entre las superficies medial y lateral del dedo índice medida sobre la articulación entre las falanges medial y proximal.</p>
	<p>Método: El sujeto mantiene el antebrazo horizontal con la mano totalmente extendida y plana, los dedos extendidos y la palma hacia arriba.</p>
	<p>Instrumento: Pie de rey</p>
	<p>Consideraciones de aplicación Holgura para el dedo en pulsadores, aberturas, etc. Considerar correcciones por el uso de guantes.</p>

Figura 129: Anchura proximal del dedo índice. [34]

- Anchura distal del dedo índice

<p>Figura 40.- Anchura distal del dedo índice</p> 	<p>Descripción: Distancia máxima entre las superficies medial y lateral del dedo índice medidas sobre la articulación entre las falanges media y distal.</p>
	<p>Método: El sujeto mantiene el antebrazo horizontal con la mano totalmente extendida y plana, los dedos extendidos y la palma hacia arriba.</p>
	<p>Instrumento: Pie de rey</p>
	<p>Consideraciones de aplicación Holgura para la yema del dedo.</p>

Figura 130: Anchura distal del dedo índice. [34]

- Longitud hombro agarre

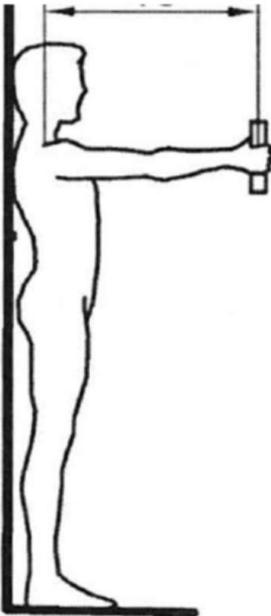
<p>Figura 65.- Longitud hombro-agarre</p> 	<p>Descripción: Distancia horizontal desde el acromion hasta el eje del puño.</p> <p>Método: El sujeto se sitúa de pie, completamente erigido, con los omóplatos y los glúteos apoyados firmemente contra la superficie vertical, el brazo completamente extendido en horizontal y hacia adelante. La mano sostiene el cilindro de medida, con el eje del puño vertical.</p> <p>Instrumento: Antropómetro; cilindro recto de 20 mm de diámetro para determinar el eje del puño</p> <p>Consideraciones de aplicación Alcance funcional. Distribución de espacios de trabajo Diseño de equipo: distancias horizontales de espacios de trabajo Si se desea considerar el contacto con la yema de los dedos y no solo el agarre, aplicar corrección de aumento según lo especificado en la longitud de la mano.</p>
--	---

Figura 131: Longitud hombro agarre. [34]

- Longitud codo-agarre

<p>Figura 51.- Longitud codo-puño</p> 	<p>Descripción: Distancia horizontal desde la parte posterior del brazo (a la altura del codo) hasta el eje del puño, el codo flexionado en ángulo recto.</p> <p>Método: El sujeto se sitúa sentado o de pie, erigido, con el brazo colgando libremente hacia abajo. La mano sostiene el cilindro de medida, con el eje del puño vertical.</p> <p>Instrumento: Antropómetro; cilindro recto de 20 mm de diámetro para determinar el eje del puño.</p> <p>Consideraciones de aplicación Alcance funcional.</p>
--	--

Figura 132: Longitud codo agarre. [34]

- Longitud codo-punta de los dedos

<p>Figura 53.- Longitud antebrazo-punta de los dedos</p> 	<p>Descripción: Distancia horizontal desde la parte posterior del brazo (a la altura del codo) hasta la punta de los dedos, el codo flexionado en ángulo recto.</p> <p>Método: El sujeto se sitúa sentado, erguido, con el brazo colgando hacia abajo, el antebrazo horizontal y la mano extendida.</p> <p>Instrumento: Antropómetro (pie de rey grande).</p> <p>Consideraciones de aplicación Dimensión de referencia para la localización de controles en áreas de trabajo. Diseño de equipo: distancias horizontales de espacios de trabajo y cuartos para vivir, y espacios de camas, literas, etc. Diseño de asientos</p>
---	---

Figura 133: Longitud codo punta de los dedos. [34]

- Perímetro de la muñeca

<p>Figura 59.- Perímetro de la muñeca</p> 	<p>Descripción: Perímetro de la muñeca medido sobre la línea que une ambas apófisis estiloides.</p> <p>Método: El sujeto mantiene el antebrazo horizontal con la mano y los dedos completamente extendidos.</p> <p>Instrumento: Cinta métrica.</p> <p>Consideraciones de aplicación Dimensionamiento de vestuario y protecciones.</p>
--	--

Figura 134: Perímetro de la muñeca. [34]

2.8. ENVASE DEL PRODUCTO

El envase de un producto es un aspecto que se debe tener en cuenta porque al realizar la acción de almacenaje y transporte este debe adecuarse al producto, para que en el transcurso de la salida de la empresa hasta la llegada al usuario el objeto no sufra.

Por ello, en el siguiente punto se va a exponer el envase que se ha seleccionado para el acompañamiento de la prótesis. Pero en primer lugar, se van a mencionar aquellas características que se requieren para que se considere un envase apropiado.

- **Resistente:** el envase debe ser lo suficiente resistente para soportar caídas y proteger el producto.
- **Ligero:** no debe ser muy pesado.
- **Dimensiones ajustadas al producto:** el envase debe tener las medidas idóneas para que el producto esté acomodado, pero tampoco sea un espacio muy grande ni muy pequeño.
- **Material:** se pretende que el material que se utilice sea reciclable.
- **Fácil manipulación:** el envase debe ser sencillo a la hora de su utilización.

Para obtener las dimensiones del envase primero se deben tener presentes las propias dimensiones del producto las cuales son 130 x 500 x 130 mm. Para determinar las medidas aproximadas del envase, se ha tenido en cuenta su manipulación, es decir, la acción de colocar y extraer la prótesis del envase. Como las acciones mencionadas anteriormente se realizan con las manos, para poder realizar un envase adecuado se han tenido en cuenta las medidas relacionadas con las manos, como la anchura de la mano en los nudillos y la anchura distal del dedo índice, que se encuentran en el apartado 1.6.2. De este modo, teniendo presente estas dos dimensiones, se ha procedido a sumar el valor perteneciente al P5 de la mujer de la anchura de los nudillos al valor de 130 mm. Por tanto se ha redimensionado de tal forma que queda una pequeña holgura entre la pieza y las paredes del envase para que el usuario pueda realizar las acciones correspondientes al envase sin ninguna dificultad. Además, en el caso de la largura se ha procedido a insertar una holgura de 20 mm para que el producto no se tambalee dentro del envase. En definitiva, el tamaño del envase es de 200 x 700 x 200 mm.

Tabla 17: Dimensiones del envase del producto

DIMENSIONES DEL ENVASE (mm)	
Dimensiones de la prótesis	P95 MUJER
130 x 500 x 130	70 mm
Dimensiones finales del envase	
200 x 700 x 200	

Después de obtener las dimensiones del envase, se pensó en la forma de este, ya que como el producto es circular se consideró la posibilidad de realizar un recipiente cilíndrico, que acompañase a la estética del producto. De esta forma, el envase podría considerarse como parte del producto, ya que al ser circular el almacenaje de este sería mucho más sencillo al no necesitar un gran espacio.

Una vez las características, las dimensiones y la forma estuvieron claras, el siguiente punto fue valorar aquellos dos materiales que son más comunes a la hora de realizar un envase; el plástico y el cartón. Para seleccionar el envase más adecuado, se utilizó el programa Granta Edupack con el que se pueden extraer una serie de datos significativos como por ejemplo la huella de carbono o la energía utilizada para la fabricación del envase.

De este modo, antes de obtener los resultados del programa, se deben insertar los siguientes datos.

- **Peso:** teniendo en cuenta los gramos que se utilizan en cada de cada material, el cual encontramos en el punto 1.10.2.2 Viabilidad económica, se estima que la prótesis tiene un peso de aproximadamente 0,6 kg.
- **Material:** plástico o cartón.
- **Contenido de reciclado:** se va a optar por un material virgen al 100%.
- **Fin de vida útil:** vertedero.
- **Unidades:** 1000 unidades a fabricar.
- **Transporte:** se va a estimar que las prótesis realicen el recorrido desde Alcoy, donde se han fabricado, hasta Valencia para su venta.
- **Recorrido:** 113 km.

A continuación se encuentra la primera imagen que hace referencia al programa, donde los datos que se han insertado pertenecen a un envase de plástico, con material virgen y donde su fin de vida va a ser en un vertedero.

Un dato a destacar sobre la imagen inferior, es que el material plástico que se ha seleccionado para el envase es el polietileno, ya que es el polímero más barato y más utilizado en la industria. Se caracteriza por su alta tenacidad y rigidez, tiene una alta resistencia a los productos químicos, y su procesamiento es sencillo. Además es un material resistente al desgaste y tiene un rango amplio de temperaturas ya que se puede usar desde -260°C a 80°C. En el anexo 2.6 Fichas técnicas de los materiales se encuentran más detalladamente sus propiedades.

The screenshot shows the Granta Edupack software interface with the following sections:

- Información del producto:** Nombre: PRÓTESIS
- Material, fabricación y fin de vida:**
 - Uds.: 1000
 - Nombre del componente: ENVASE PRÓTESIS
 - Material: Polietileno (PE)
 - Contenido reciclado: Virgen (0%)
 - Masa (kg): 0,6
 - Proceso primario: Moldeo de polímeros
 - Fin de vida: Vertedero
- Transporte:**
 - Nombre: VALENCIA
 - Tipo de transporte: Camión de 14 toneladas (2 ejes)
 - Distancia (km): 113

Figura 135: Datos iniciales del envase de plástico.

Seguidamente, después de introducir todos los datos en el programa ya se pueden obtener los resultados pertenecientes a la primera prueba de envase.

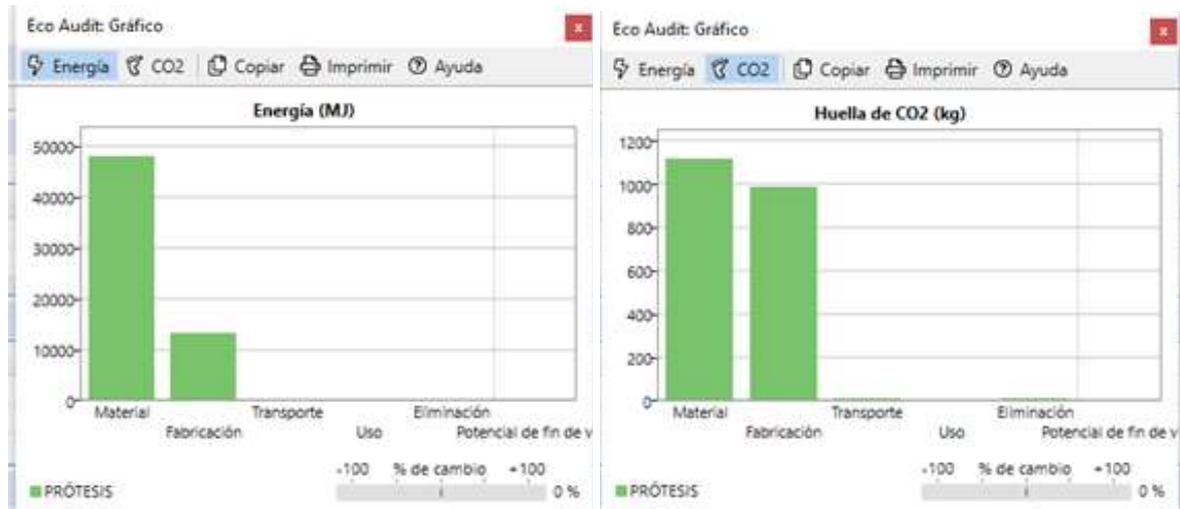


Figura 136: Imágenes de los resultados del envase de plástico. Imagen de la izquierda grafica la energía. Y la imagen de la derecha la huella de carbono.

Las dos fotografías superiores hacen referencia al envase de plástico no reciclable. Donde en la imagen de la izquierda se observa la cantidad de energía que se utiliza tanto por parte del material como del proceso de fabricación para obtener las 1000 unidades de envases. Por parte de la energía utilizada para el material es de caso 50000 MJ y en cuanto a la fabricación del envase, si que se observa un descenso bastante pronunciado, ya que la energía utilizada es de aproximadamente 10200 MJ. Por parte del transporte y la eliminación no se observa ningún gasto de energía. Por el contrario, con la imagen de la derecha, se van a estudiar los valores pertenecientes a la huella de carbono. En este caso tanto el material como la fabricación tienen valores más igualados, sin embargo el material sigue llevando la delantera ya que por 1000 envases se producen 1500 kg de dióxido de carbono respecto a los casi 1000 kg que produce la fabricación. De esta segunda imagen, también se debe destacar que tanto el transporte como la eliminación del envase, tienen un leve impacto en la huella de carbono, ya que de las barras gráficas solo se observa una fina línea.

Continuando con el estudio del envase, el siguiente recipiente es parcialmente al contrario del anterior ya que cambia el material de este. Todos los valores iniciales se mantienen menos el material que ha sido modificado, por papel y cartón.

Información del producto						
Nombre: PRÓTESIS 2						
Material, fabricación y fin de vida						
¿Cómo puedo usar mis propios materiales o procesos?						
Uds.	Nombre del componente	Material	Contenido reciclado	Masa (kg)	Proceso primario	Fin de vida
1000	ENVASE PRÓTESIS 2	Papel y cartón	Virgen (0%)	0,6	Personalizado: PROCESO CORRUGADO	Vertedero
Transporte						
Nombre	Tipo de transporte	Distancia (km)				
VALENCIA	Camión de 14 toneladas (2 ejes)	113				

Figura 137: Datos iniciales del envase de cartón.

Prosiguiendo con el estudio se van a explicar las imágenes inferiores ya que pertenecen a los resultados del envase de cartón.

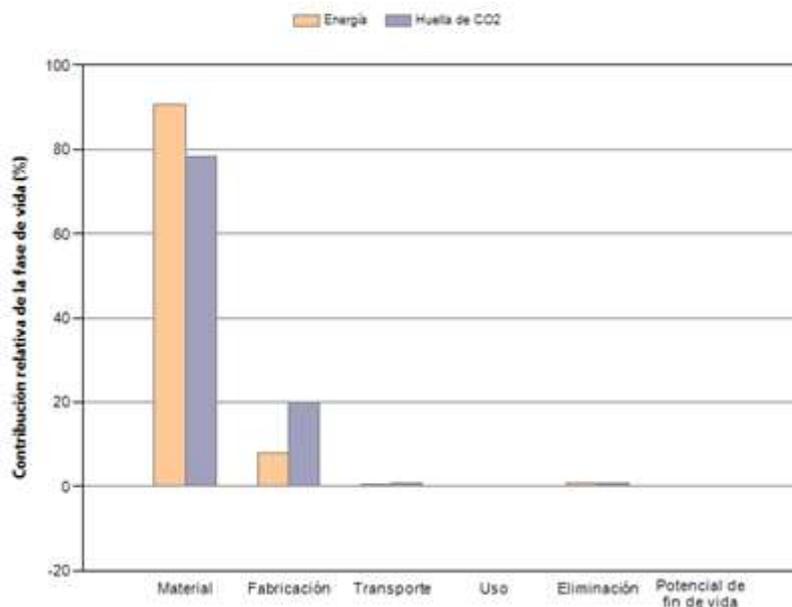


Figura 138: Gráfica con los dos resultados pertenecientes a la energía de color naranja y de color lila la huella de carbono.

En este caso, en la gráfica se pueden encontrar los dos aspectos de análisis que son la energía y la huella de carbono. Respecto a la energía se reconoce por las barras de color naranja, que de la misma manera que sucede en el caso anterior el material es la principal causa de la utilización de energía llevándose un porcentaje del 90%. En cuanto a la fabricación también se observa un gasto energético de aproximadamente un 10%. Por otro lado, de color lila está representada la huella de carbono, que de la misma manera que la energía, el material también ocupa un gran porcentaje de este aspecto siendo su valor de casi un 80%. El porcentaje restante, lo ocupa el proceso de fabricación siendo de un 20% el dióxido de carbono que produce. Y por último, el transporte y la eliminación del envase, tiene valores tan bajos que las barras de la gráfica son poco perceptibles.

A continuación se ha procedido a realizar la comparación de estas dos opciones, donde el cambio más significativo ocurre en el material del envase. Además, el aspecto que se va a comparar es la huella de carbono ya que se considera que es una característica muy importante para el cuidado del medio ambiente.

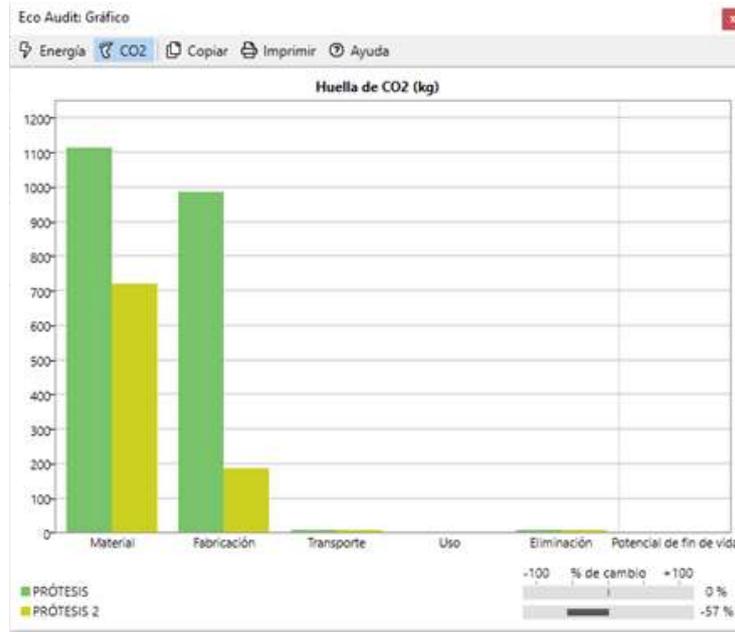


Figura 140: Comparación gráfica de la huella de carbono de los dos envases.

Los datos que aparecen en la gráfica superior ya han sido comentados anteriormente, sin embargo, en esta imagen se pueden ver los datos pertenecientes al primer envase de plástico y los datos del envase de cartón. Para poder distinguirlos se debe mencionar, que las barras de color verde oscuro y llevan el nombre de PRÓTESIS pertenecen al envase de plástico. Y las barras, de color verde claro y que está bajo el nombre de PRÓTESIS 2 están asociadas al envase de cartón.

En primer lugar, los kilogramos de dióxido de carbono que se generan con el material se puede afirmar en los dos casos que son mayores a los kilogramos que genera el proceso de fabricación. Pero, entre los dos materiales se debe destacar que el material plástico es el que genera una huella de carbono mucho más grande que el cartón, ya que su valor es de 1100 kg, respecto los 700 kg que genera el cartón.

Seguidamente, la comparación del proceso de fabricación tiene un modelo de barras muy similar al material, pero ya que se percibe un gran escalón entre el proceso del plástico y el proceso del cartón. Por parte del plástico, la fabricación de las 1000 unidades produce casi 1000 kg de dióxido de carbono, es decir, un envase de un 1 kg produce 1 kg de CO². Por el contrario, todas las unidades que se fabrican con cartón producen casi 200 kg de dióxido de carbono, la diferencia entre un proceso y otro es abismal.

Y para finalizar, respecto al transporte y a la eliminación del producto, como se ha mencionado con anterioridad, las barras que se observan son tan bajas y similares que no se pueden cuantificar de manera exacta, ya que como mucho esos valores están rondando los 2 kg.

En definitiva, después de haber realizado la comparación de los dos materiales seleccionados el material que se va a seleccionar para realizar el envase va a ser el cartón. Como se ha podido observar en las gráficas, es un material que utiliza menos energía tanto para obtener el material como para su proceso de fabricación. Además, la huella de carbono que produce el cartón es mucho más pequeña que la producida por el plástico, y ello conlleva que sea mucho más beneficioso con el medio ambiente.

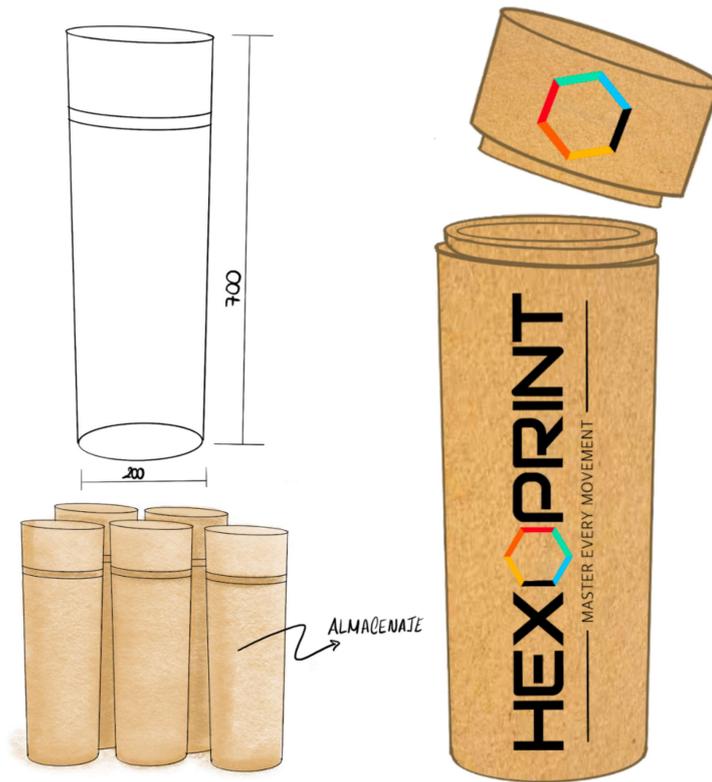


Figura 141: Boceto del envase final del producto. Elaboración propia.

2.9. ELEMENTOS COMERCIALES

- **PIEZA 5:TIRAS DE VELCRO**

En cuanto a los elementos comerciales que se encuentran en el conjunto de la prótesis solo hay un producto, las tiras de velcro que son las encargadas de proporcionar el ajuste.



Figura 142: Cintas de velcro comerciales.

Las características que reúnen estas tiras es que cuentan con una anilla para proporcionar el agarre. Y en cuanto a las dimensiones de las tiras son de 20x200 mm. Además en cada paquete vienen 5 unidades, por tanto el sobrante se puede incluir en el paquete para los recambios de estas.

2.10. MÁQUINAS, HERRAMIENTAS Y ÚTILES DE FABRICACIÓN

En lo que respecta a las máquinas, herramientas y los útiles de fabricación, al tratarse de la fabricación aditiva, este es un proceso relativamente sencillo y como todas las piezas se van a realizar del mismo modo, solo se debe tener en cuenta la utilización de una máquina específica.

Cierto es, que dentro del mundo de la impresión 3D, y más concretamente de la impresión FFF, hay muchos tipos de máquinas, donde todas desarrollan la misma función pero es cierto que cambian ciertos detalles y características. Por ello, la impresora que se ha seleccionado para la fabricación de la prótesis ha sido la impresora Artillery Genius Pro.

Por parte del ensamblado de las piezas, se va a realizar con la ayuda de un pegamento para plásticos de impresión 3D. [50],[51].

● PEGAMENTO



Figura 143: Pegamento.[101]

Seguidamente, se citan las características de este material adhesivo

- Secado rápido
- Máxima durabilidad
- Resistente a golpes y agua
- Resistente a altas temperaturas
- Evitar el exceso de pegamento
- Dejar actuar durante 10 min
- Resistencia máxima pasadas las 24h.

● **MÁQUINA DE IMPRESIÓN 3D: ARTILLERY GENIUS PRO**

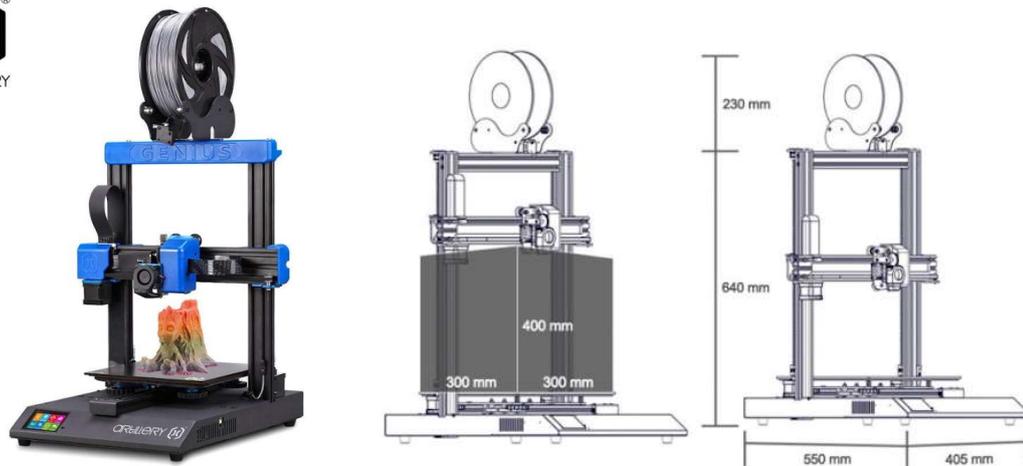


Figura 144: Imágenes de la máquina de impresión 3D. [90]

Tabla 18: Características técnicas de la impresora.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS			
Volumen de impresión	220 x 220 x 250 mm	Tipo de extrusor	Accionamiento directo (Titán)
Resolución de capa	0,05 mm	Resolución XYZ	0,05 mm / 0,1 mm
Velocidad máxima de impresión	150 mm/s	Tipo de boquilla	Volcán
Velocidad máxima de recorrido	250 mm/s	Diámetro de boquilla	0,4 mm
Cama de impresión	Vidrio-cerámica	Temperatura de boquilla	Hasta 240°C
Diámetro del filamento	1,75 mm	Tiempo de calentamiento de boquilla	3 minutos
Filamento soportado	PLA, ABS, PLA Flexible, TPU, madera ...	Nivel de ruido	< 60dBA
Nivelación de cama	Manual	Consumo de energía	100V - 240V 600W máx
Peso de la máquina	8,9 Kg	Dimensiones de la máquina	430 x 390 x 590 mm
PRECIO		250€	

2.11. DISEÑO GRÁFICO DEL PRODUCTO

El desarrollo de este proyecto está enfocado en el diseño de producto, y al ser un objeto este debe identificarse bajo un nombre para poder reconocerlo en el mercado. Por ello, se ha realizado una búsqueda de identidad que pueda asociarse de la forma más adecuada a la prótesis.

En primer lugar, para poder establecer un nombre al nuevo producto que se va a lanzar al mercado se deben tener en cuenta aquellos conceptos y características más destacables de la nueva prótesis y que la distinguen de las otras.

Estas propiedades son:

- **Patrón hexagonal**
- **Ligereza**
- **Proceso de fabricación: impresión 3D**
- **Extremidad superior**

Una vez se tuvo claro que éstas eran las cualidades más significativas de la prótesis se inició con el desarrollo de los nombres. Primeramente, se pensó en palabras simples que pudiesen definir las propiedades anteriormente nombradas, las cuales fueron; brazo, 3D, impresión y hexágono. Después de la obtención de las palabras simples, se inició el proceso de crear otras palabras con estas tres para intentar obtener la designación del producto, y surgieron algunas ideas como las siguientes:

- **3DBraHex**
- **HexaPrintArm**
- **BH3D**
- **TriHexArm**
- **H3DBra**
- **HEXOPRINT**
- **HexBra3D**

Después de mezclar las letras principales, las sílabas e idioma, de todas las opciones la que más se acoplaba al diseño y a una fácil pronunciación fue el nombre de **HEXOPRINT**. Como se puede observar, es una palabra que surge del patrón por el que está diseñada la prótesis y su proceso de fabricación.

A continuación, el siguiente paso es la elección de la tipografía que se va a escoger para el nombre del producto. En este punto del diseño de la identidad se escogieron algunas tipografías y luego se insertó el nombre para observar cómo se comportaban las letras con los distintos diseños de tipografía. Además, en este momento, también surgió la idea de insertar un elemento gráfico que pudiese definir e identificar de forma más visual el producto. Por ello, se decidió insertar la geometría de un hexágono como sustitución de la letra O, ya que de esta manera el cerebro puede seguir intuyendo por esta forma que la letra que correspondería a este reemplazo es la mencionada anteriormente.



Figura 145: Tipografías para el logotipo. Elaboración propia.

Como se puede observar se utilizaron muchas tipografías distintas, así como también el uso de las mayúsculas y las minúsculas. Ciertamente, que al hacer uso de las minúsculas el efecto del hexágono se perdía, por ello hay pocos ejemplos con las minúsculas. Siguiendo con la observación de las distintas tipografías también se debe destacar que se ha primado el entendimiento por encima de la estética, pero sin dejar de lado esa propiedad. De este modo, se ha considerado que el diseño que mejor se adapta es el que se encuentra rodeado de color naranja, ya que las letras tienen cierto grado de formas geométricas pero con sus respectivos redondeos proporcionando una sensación futurista. De este modo, la tipografía seleccionada es *Audiowide*, y se puede observar en la imagen inferior, figura X.

A B C D E F G H I J K L M N Ñ O P Q R S T U W X Y Z
a b c d e f g h i j k l m n ñ o p q r s t u w x y z

Figura 146: Tipografía Audiowide.

Otro aspecto que se quiso tener en cuenta fue la idea de que el producto contase con un slogan el cual pudiese resumir la funcionalidad del producto. De este modo, se pensaron un par de frases en inglés las cuales pudiesen tener una concordancia con el título.

- **Elevate your reach**
- **Seamless integration, limitless function**
- **Redesigning mobility**

- **Master every movement**
- **Unleash your potential**

Como se puede observar, todas las frases hacen referencia a la movilidad de la prótesis, pero desde una perspectiva motivacional y emocional. Se pretende crear una sensación en el usuario al leer el nombre del producto en conjunto con el slogan para resumir el producto sin necesidad de visualizarlo. Después de las cinco alternativas, se pensó que la que más se adapta y que podía complementar de manera adecuada al nombre, es **Master Every Movement**. A continuación, para seleccionar la tipografía del slogan, se realizó el mismo proceso que con el nombre, se seleccionaron distintos diseños de letras. Además, también se hizo la prueba de las tipografías con un elemento gráfico estético que corresponde a una línea que provoca un efecto de unión entre el slogan y el nombre.

En las siguientes imágenes se puede observar, el nombre con el slogan, las distintas tipografías y el elemento estético.



Figura 147: Tipografías del slogan. Elaboración propia.



Figura 148: Tipografías del slogan con línea. Elaboración propia.

De la misma manera que en el caso, anterior se encuentra el logo seleccionado rodeado con una elipse de color naranja. Finalmente, se ha elegido que el elemento gráfico de la línea es adecuado para el nombre, ya que como se ha comentado anteriormente, crea un efecto de unión entre las palabras. Y para conocer más el estilo de tipografía del logo, en la figura X, aparece la tipografía que recibe el nombre de *SourceSans* .

ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ
abcdefghijklmnopqrstuvwxyz

Figura 149: Tipografía del slogan.

Por tanto, después de todos los pasos que se han seguido para crear una identidad a la prótesis, el logo que finalmente va a acompañar este producto es el siguiente:



Figura 150: logotipo de producto

Cuando el logo del nuevo producto ya estuvo claro, a continuación se procedió a hacer un estudio de la paleta de colores que debía acompañar a este conjunto de objeto y nombre. En este caso, para crear distintas paletas de colores se tuvo presente el proceso de

fabricación, ya que como se trata de la impresión 3D este desarrollo permite una personalización del objeto del 100%. Además, los colores de los filamentos son muy variados y se puede encontrar una gran gama de tintes. Por ello, se realizaron algunas paletas de colores teniendo en cuenta algunos colores de los filamentos, y otras paletas respetando la armonía de los colores, como se puede observar posteriormente. :

- **PROPUESTA 1**



Figura 151: paleta de colores 1. Elaboración propia.

- **PROPUESTA 2**



Figura 152: paleta de colores 2. Elaboración propia.

- **PROPUESTA 3**

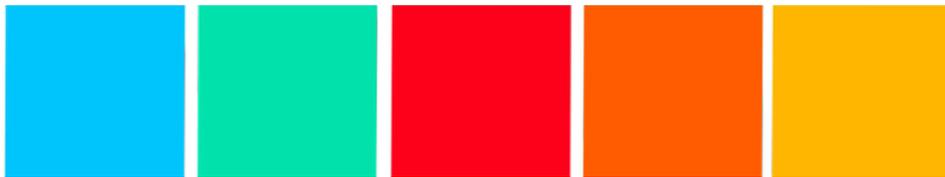


Figura 153: paleta de colores 3. Elaboración propia.

- **PROPUESTA 4**

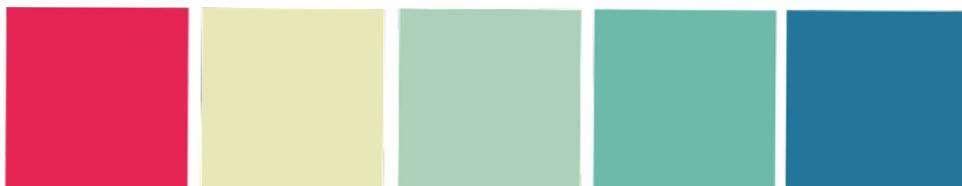


Figura 154: paleta de colores 4. Elaboración propia.

Respecto a las propuestas de las paletas de colores hay algunas combinaciones de colores oscuros que no transmiten el mismo sentimiento que al observar los filamentos de impresión 3D. Por ello, las propuestas 2 y 4, se descartaron, y en cuanto a las combinaciones de de las paletas 1 y 3, si se ven algunos colores más alegres. Sin embargo, la paleta número transmite una sensación de frialdad ya que los colores son más apagados.

Como resultado final la paleta seleccionada es la propuesta número 3, con la cual se realizaron distintas pruebas en conjunto con el nombre, y que por consiguiente se ejemplifican a continuación en las figuras X,X,X.

La paleta 3, está compuesta por colores vivos que están sujetos a unos valores dentro de la escala RGB³, por ello a continuación se van a dictar estos valores que forman cada uno.

- **Amarillo** : 254,186,35.
- **Naranja**: 255,106,36.
- **Rojo**: 255,29,47.
- **Verde**: 0,223,176.
- **Azul**: 8,193,249.



Figura 155: Pruebas de color con el logotipo. Elaboración propia.

³ RGB: son las siglas que hacen referencia a un modelo para crear colores mediante la combinación de los colores primarios, que son el rojo (red), verde (green) y azul (blue). Además los códigos RGB se componen por tres números separados por comas.

HEXOPRINT
MASTER EVERY MOVEMENT

Figura 156: Pruebas de color con logotipo 2. Elaboración propia.



Figura 157: Degradado de la paleta seleccionada para el logotipo. Elaboración propia.

En las primeras combinaciones, se pensó en poner el logo con cada color de la paleta para observar cómo se comportaban en conjunto. Y después ya se realizaron más propuestas combinando los colores con el logo en negro para obtener relieve y un efecto 3D en referencia al método de impresión. Seguidamente, se pensó en realizar un degradado de todos los colores para ponerlos en el logo y también crear el efecto de relieve intercambiando el orden de los relieves para ver el efecto.

Finalmente, después de todas las pruebas se ha decidido que la paleta de colores se va a incluir en el elemento gráfico de la palabra, es decir, el hexágono. Y de esta manera, se puede representar este producto desde un logotipo y desde un isotipo.

- LOGOTIPO



Figura 158: logotipo del producto. Elaboración propia.

- ISOTIPO

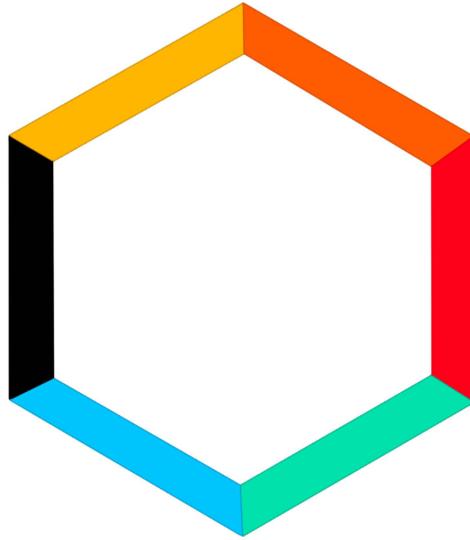


Figura 159: Isotipo del producto. Elaboración propia.

2.12. DIAGRAMA DE PERT Y GANTT

- PERT

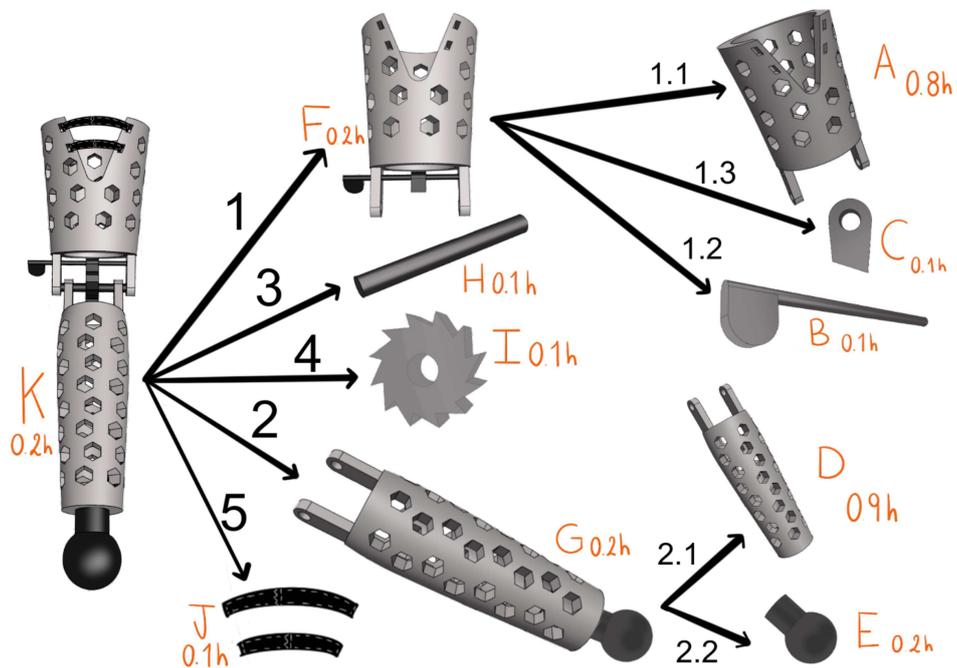


Figura 160: Esquema del PERT. Elaboración propia.

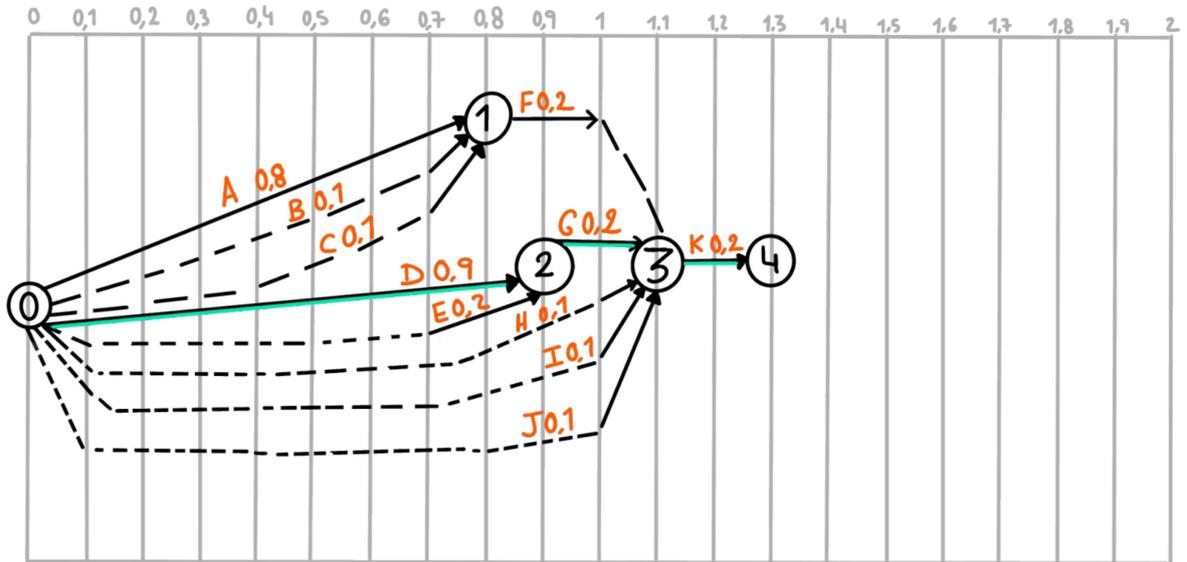
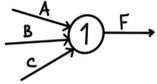
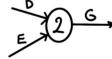
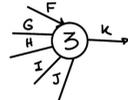


Figura 161: Diagrama del PERT. Elaboración propia.

Tabla 19: PERT

ELEMENTO / SUBCONJUNTO	ACTIVIDAD	DESIGNACIÓN	DURACIÓN	ACTIVIDADES ANTERIORES	ACTIVIDADES INMEDIATAMENTE ANTERIORES	GRAFO PARCIAL
1.1 Estructura Brazo	Impresión 3D	A	0,8 h			
1.2 Eje Manivela	Impresión 3D	B	0,1 h			
1.3 Uñeta	Impresión 3D	C	0,1 h			
Subconjunto 1	Ensamblaje	F	0,2 h	A-B-C	A-B-C	
2.1 Estructura Antebrazo	Impresión 3D	D	0,9 h			
2.2 Unión esférica	Impresión 3D	E	0,2 h			
Subconjunto 2	Ensamblaje	G	0,2 h	D-E	D-E	
3 Eje Principal	Impresión 3D	H	0,1 h			
4 Trinquete	Impresión 3D	I	0,1h			
5 Velcro	Ensamblaje	J	0,1h	A-B-C		
Conjunto	Ensamblaje	K	0,2 h	A-B-C-D-E-F	H-I-J	

• GANTT

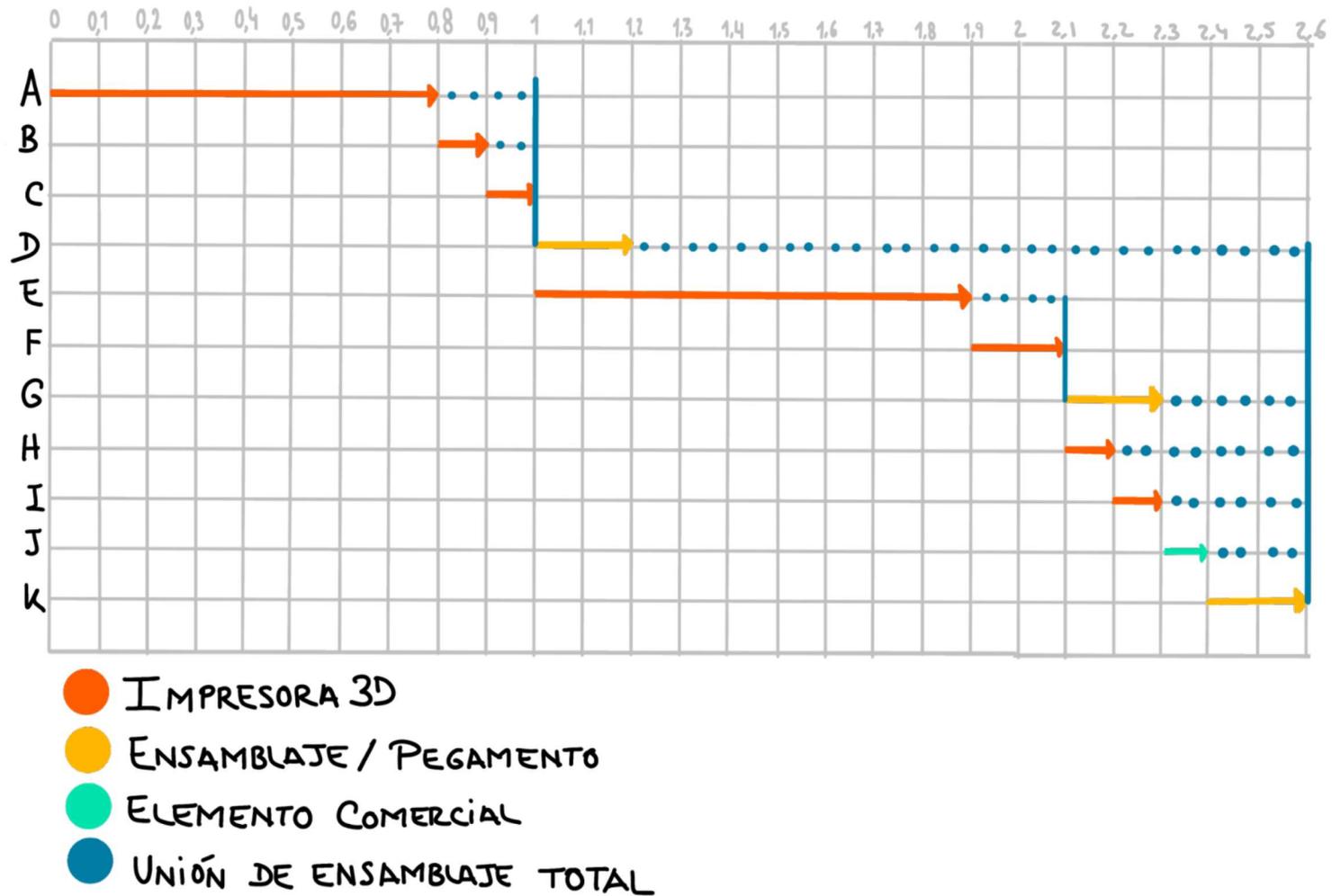


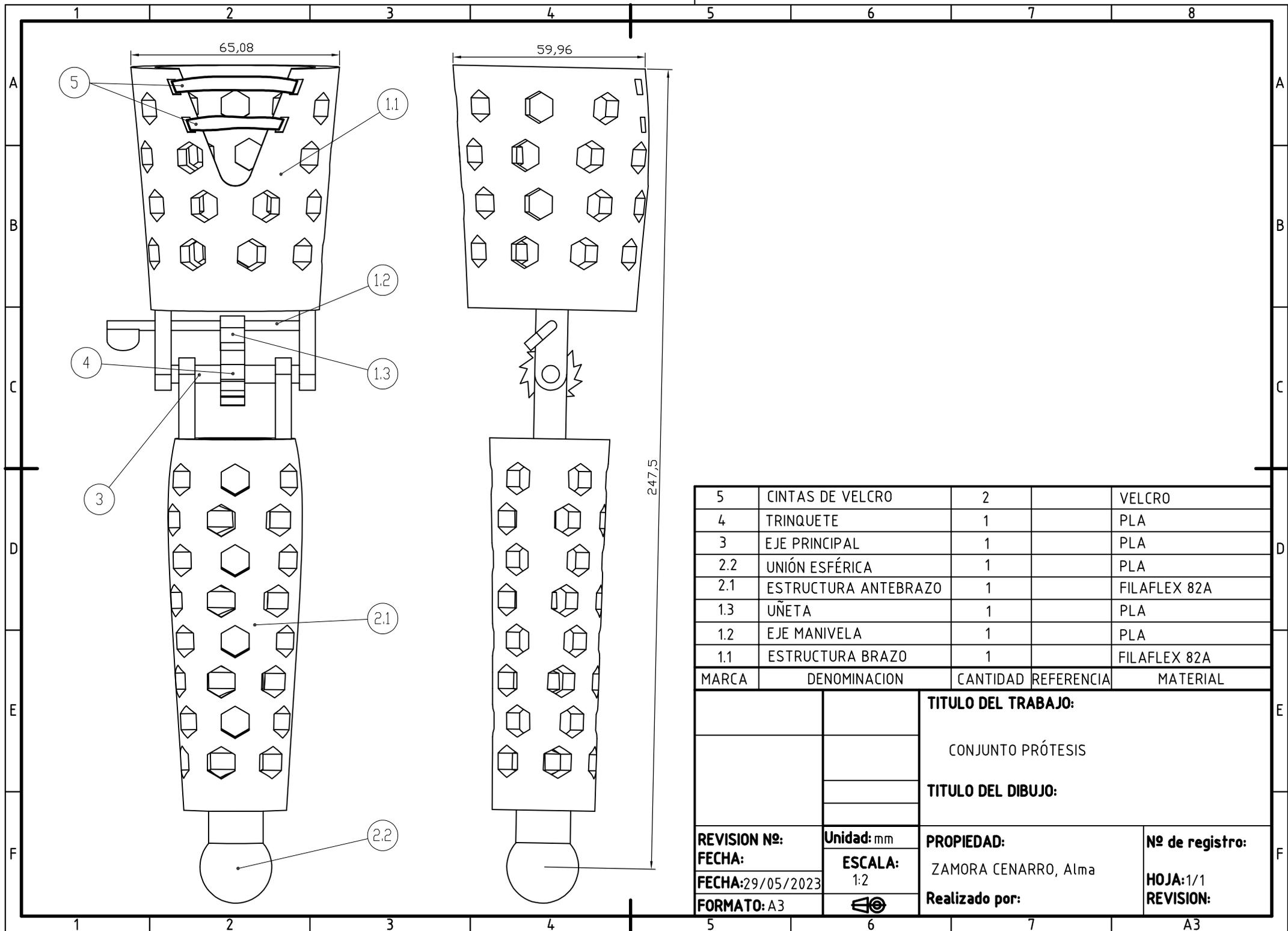
Figura 162: Diagrama de GANTT. Elaboración propia.

Tabla 20: GANTT

ELEMENTO O CONJUNTO	ACTIVIDAD	DESIGNACIÓN	DURACIÓN	MÁQUINA	HERRAMIENTAS	OPERARIO
1.1 Estructura brazo	Impresión 3D	A1	0,8 h	Impresora 3D		Diseñador
1.2 Eje Manivela	Impresión 3D	B1	0,1 h	Impresora 3D		Diseñador
1.3 Uñeta	Impresión 3D	C1	0,1 h	Impresora 3D		Diseñador
Subconjunto 1	Ensamblaje	D1	0,2 h		Pegamento	Diseñador
2.1 Estructura Antebrazo	Impresión 3D	E1	0,9 h	Impresora 3D		Diseñador
2.2 Unión esférica	Impresión 3D	F1	0,2 h	Impresora 3D		Diseñador
Subconjunto 2	Ensamblaje	G1	0,2 h		Pegamento	Diseñador
3 Eje Principal	Impresión 3D	H1	0,1 h	Impresora 3D		Diseñador
4 Trinquete	Impresión 3D	I1	0,1h	Impresora 3D		Diseñador
5 Velcro	Ensamblaje	J1	0,1 h			Diseñador
Conjunto	Ensamblaje	K1	0,2h		Pegamento	Diseñador

3. PLANOS

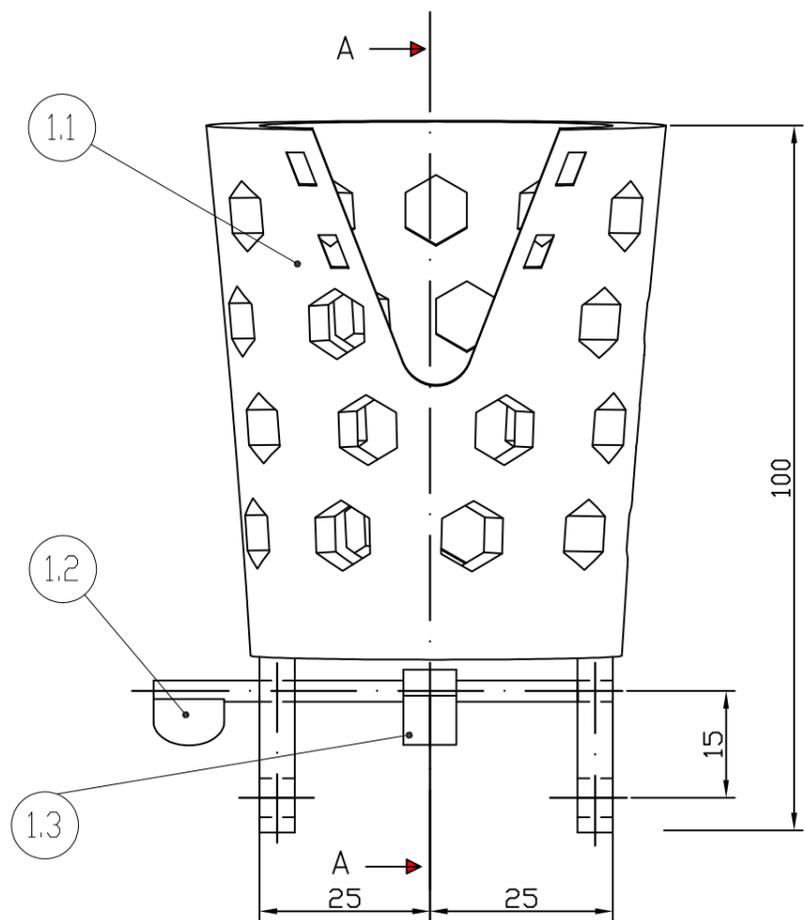
3.1. PLANOS DE CONJUNTO



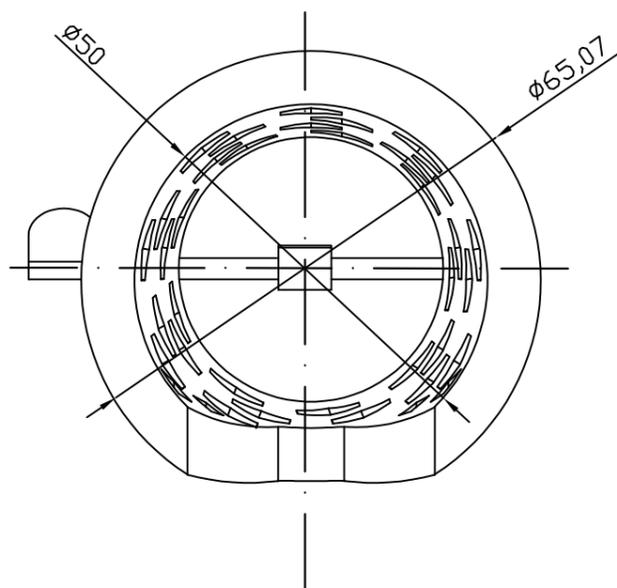
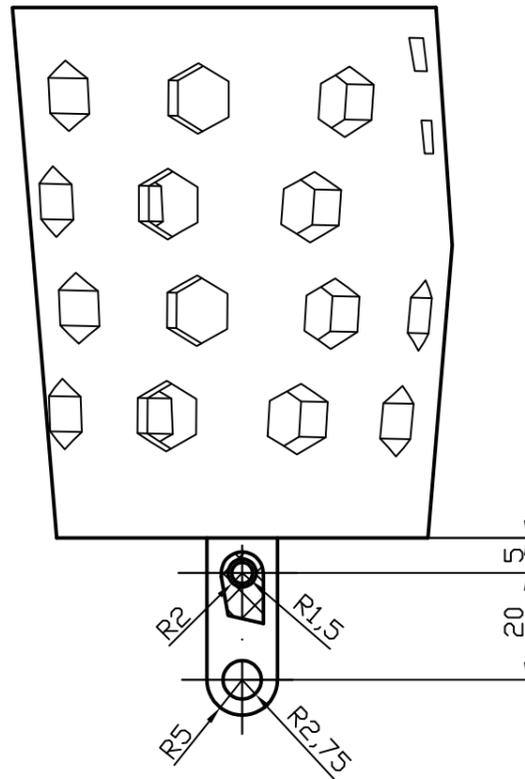
5	CINTAS DE VELCRO	2		VELCRO
4	TRINQUETE	1		PLA
3	EJE PRINCIPAL	1		PLA
2.2	UNIÓN ESFÉRICA	1		PLA
2.1	ESTRUCTURA ANTEBRAZO	1		FILAFLEX 82A
1.3	UÑETA	1		PLA
1.2	EJE MANIVELA	1		PLA
1.1	ESTRUCTURA BRAZO	1		FILAFLEX 82A

MARCA	DENOMINACION	CANTIDAD	REFERENCIA	MATERIAL
		TITULO DEL TRABAJO:		
		CONJUNTO PRÓTESIS		
		TITULO DEL DIBUJO:		
REVISION Nº:	Unidad: mm	PROPIEDAD:		Nº de registro:
FECHA:	ESCALA:	ZAMORA CENARRO, Alma		HOJA: 1/1
FECHA: 29/05/2023	1:2	Realizado por:		REVISION:
FORMATO: A3				

3.2. PLANOS DE SUBCONJUNTO



SECCIÓN A-A



LAS LÍNEAS OCULTAS NO SE HAN DIBUJADO EN LA PLANTA PORQUE ERAN CONFUSAS PARA EL ENTENDIMIENTO DEL SUBCONJUNTO.

1.3	UÑETA	1		PLA
1.2	EJE MANIVELA	1		PLA
1.1	ESTRUCTURA BRAZO	1		FILAFLEX 82A
MARCA	DENOMINACION	CANTIDAD	REFERENCIA	MATERIAL

TITULO DEL TRABAJO:

SUBCONJUNTO 1

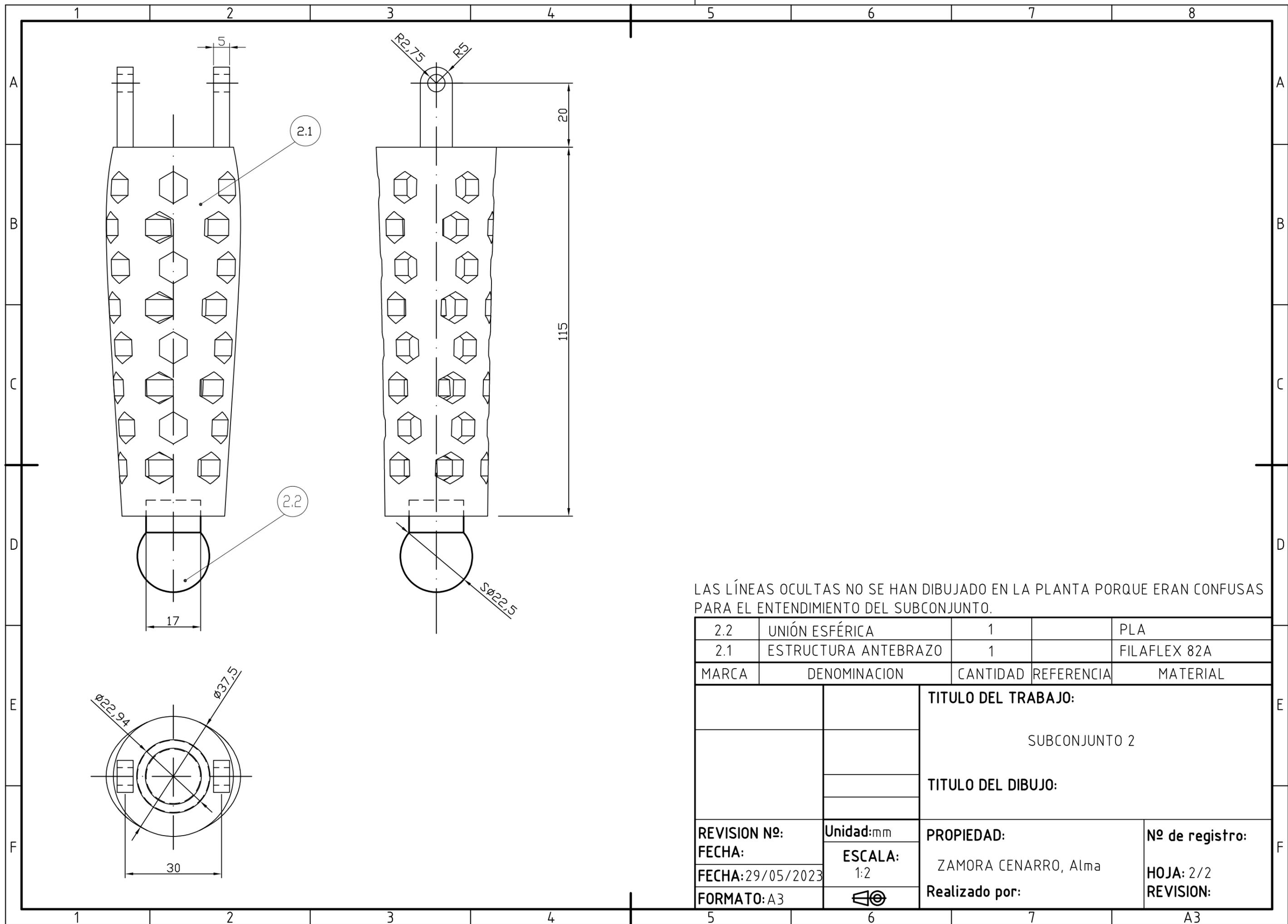
TITULO DEL DIBUJO:

REVISION Nº:
FECHA:
FECHA: 29/05/2023
FORMATO: A3

Unidad: mm
ESCALA:
1:2

PROPIEDAD:
ZAMORA CENARRO, Alma
Realizado por:

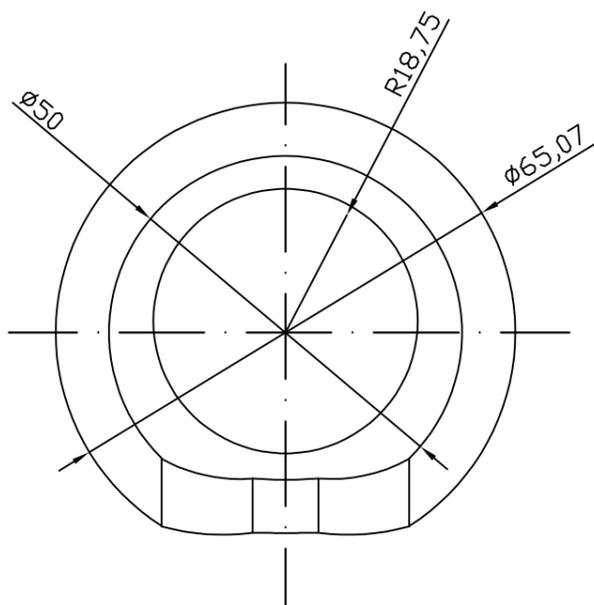
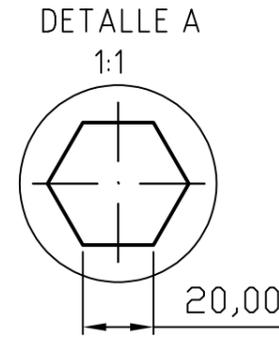
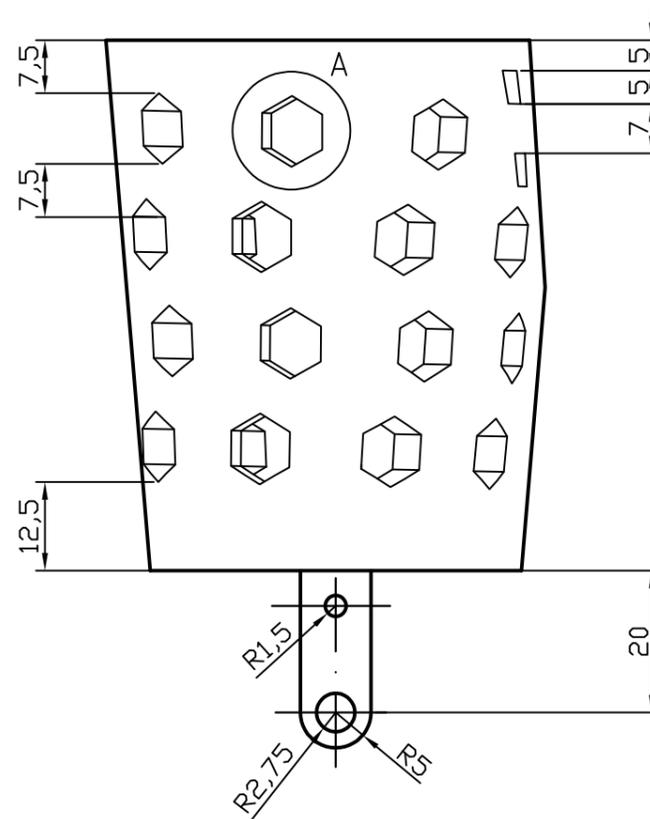
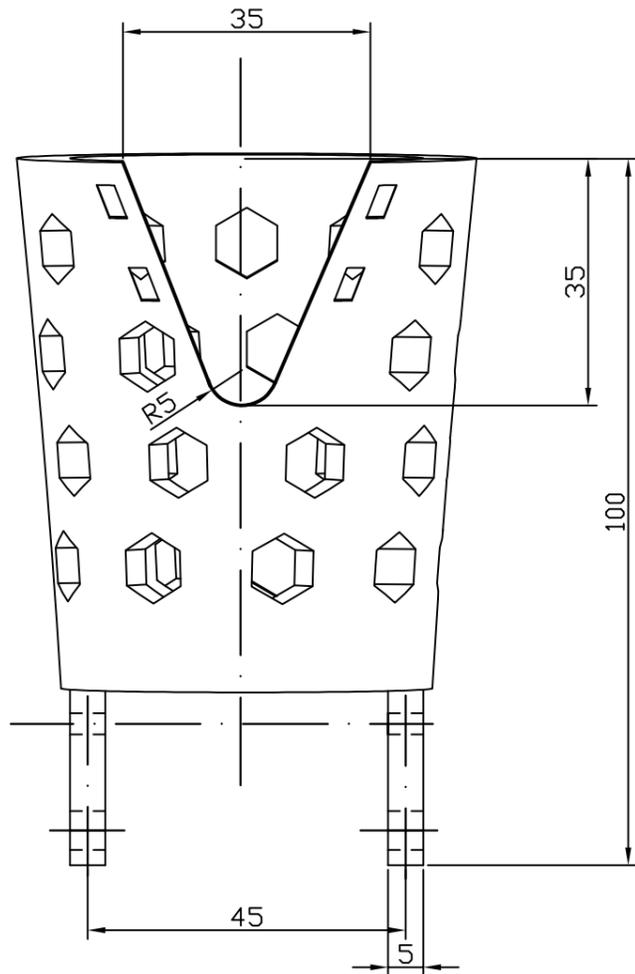
Nº de registro:
HOJA: 1/2
REVISION:



LAS LÍNEAS OCULTAS NO SE HAN DIBUJADO EN LA PLANTA PORQUE ERAN CONFUSAS PARA EL ENTENDIMIENTO DEL SUBCONJUNTO.

2.2	UNIÓN ESFÉRICA	1		PLA
2.1	ESTRUCTURA ANTEBRAZO	1		FILAFLEX 82A
MARCA	DENOMINACION	CANTIDAD	REFERENCIA	MATERIAL
		TITULO DEL TRABAJO:		
		SUBCONJUNTO 2		
		TITULO DEL DIBUJO:		
REVISION Nº:	Unidad: mm	PROPIEDAD:		Nº de registro:
FECHA:	ESCALA:	ZAMORA CENARRO, Alma		HOJA: 2/2
FECHA: 29/05/2023	1:2	Realizado por:		REVISION:
FORMATO: A3				

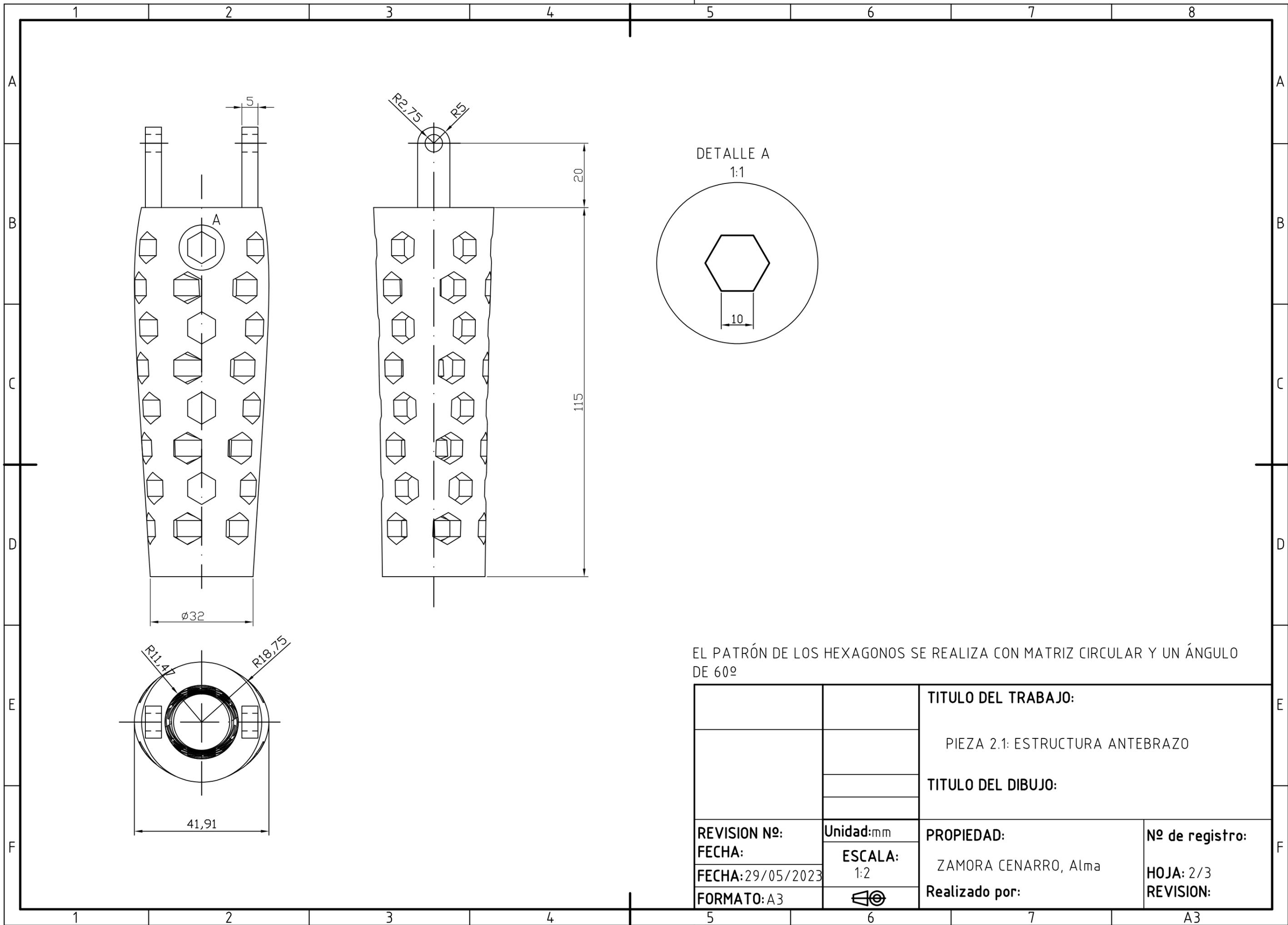
3.3. PLANOS DE DESPIECE



EL PATRÓN DE LOS HEXAGONOS SE REALIZA CON MATRIZ CIRCULAR Y UN ÁNGULO DE 60°.

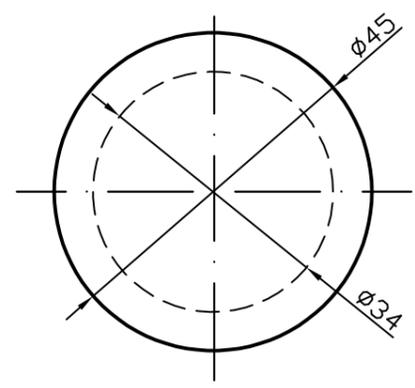
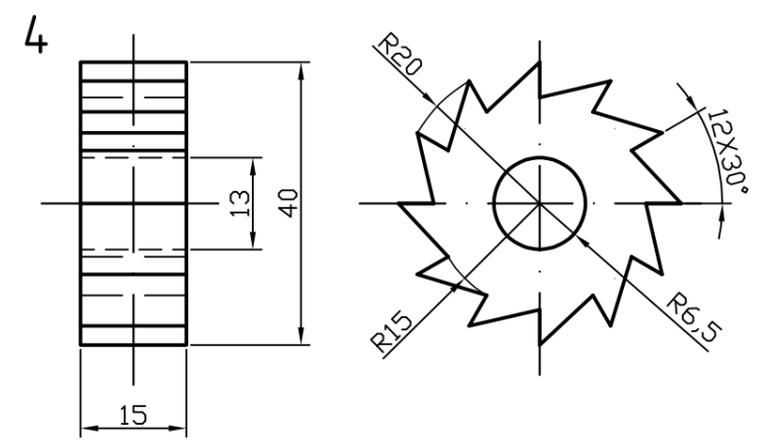
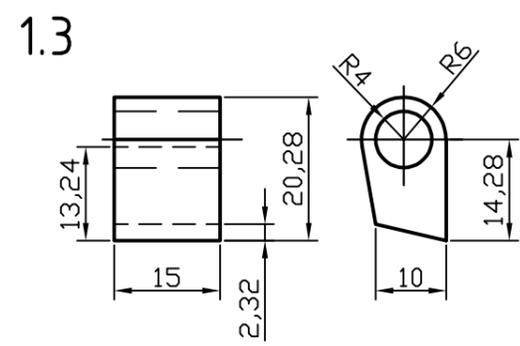
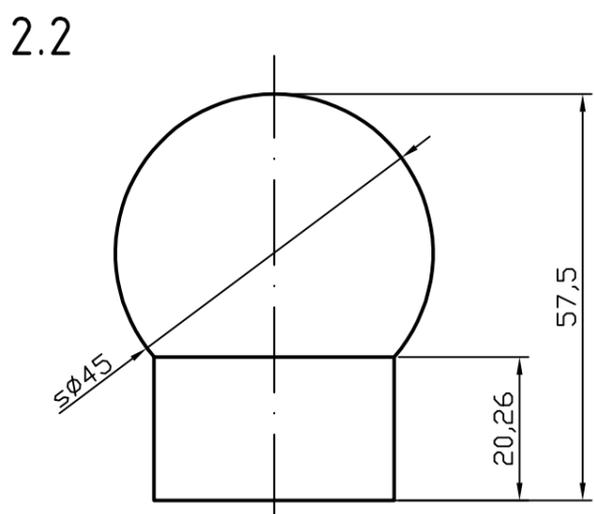
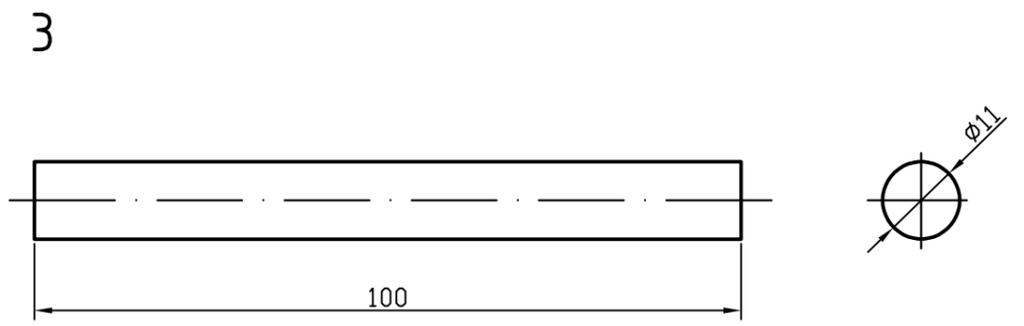
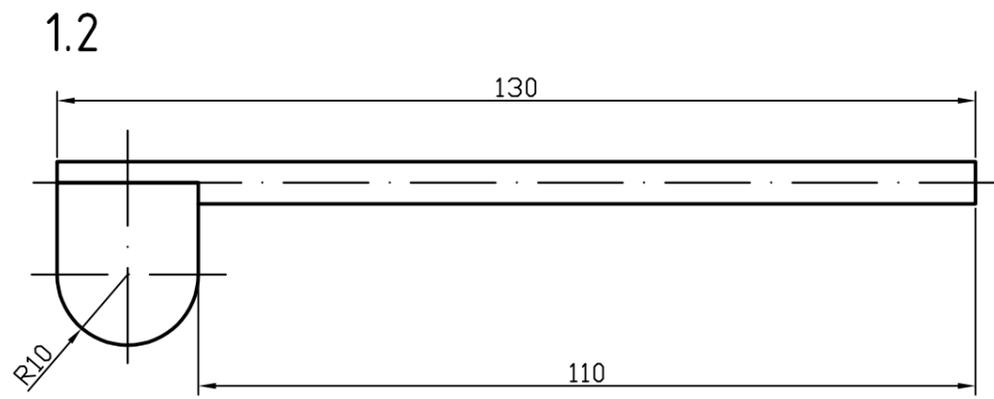
EN LA PLANTA NO SE HAN REALIZADO LAS LÍNEAS OCULTAS PARA UN MEJOR ENTENDIMIENTO DE LA FIGURA.

		TITULO DEL TRABAJO:	
		PIEZA 1.1: ESTRUCTURA BRAZO	
		TITULO DEL DIBUJO:	
REVISION Nº:	Unidad: mm	PROPIEDAD:	Nº de registro:
FECHA:	ESCALA:	ZAMORA CENARRO, Alma	HOJA:1/3
FECHA: 29/05/2023	1:2	Realizado por:	REVISION:
FORMATO: A3			



EL PATRÓN DE LOS HEXAGONOS SE REALIZA CON MATRIZ CIRCULAR Y UN ÁNGULO DE 60°

		TITULO DEL TRABAJO:	
		PIEZA 2.1: ESTRUCTURA ANTEBRAZO	
		TITULO DEL DIBUJO:	
REVISION Nº:	Unidad: mm	PROPIEDAD: ZAMORA CENARRO, Alma	Nº de registro:
FECHA:	ESCALA:		
FECHA: 29/05/2023	1:2		
FORMATO: A3		Realizado por:	HOJA: 2/3
			REVISION:



4	TRINQUETE	1		PLA
3	EJE PRINCIPAL	1		PLA
2.2	UNIÓN ESFÉRICA	1		PLA
1.3	UÑETA	1		PLA
1.2	EJE MANIVELA	1		PLA
MARCA	DENOMINACION	CANTIDAD	REFERENCIA	MATERIAL
		TITULO DEL TRABAJO:		
		PIEZAS: 1.2, 1.3, 2.2, 3 Y 4		
		TITULO DEL DIBUJO:		
REVISION Nº:	Unidad: mm	PROPIEDAD:		Nº de registro:
FECHA:	ESCALA:	ZAMORA CENARRO, Alma		HOJA: 3/3
FECHA: 29/05/2023	1:1	Realizado por:		REVISION:
FORMATO: A3				

4. PROTOTIPOS, MAQUETAS Y/O MODELOS

4.1. PRESENTACIÓN DEL PRODUCTO

Después de realizar un logotipo y un isotipo del producto que se encuentran en el apartado 2.11 Diseño gráfico del producto, se va a proceder a realizar algunos carteles que van a acompañar al producto en su lanzamiento al mercado. Los folletos publicitarios se han diseñado para llamar la atención no sólo del público objetivo, si no de la sociedad generalizada.

En el primer cartel, de la figura X se puede observar que aparecen seis prótesis que están colocadas en distintas posiciones para darle movimiento al letrero. Además el producto va acompañado de una palabra que se asocia a la parte estética del producto, y debajo de esta una frase que hace referencia a la movilidad de la prótesis. Y por último, en la esquina inferior derecha se encuentra también el logotipo del propio producto.



Figura 163: Cartel publicitario 1. Elaboración propia.

Este folleto publicitario está pensado para colocarse en los anuncios que están a la salida del tren. Se ha pensado en este espacio, ya que debido a la oscuridad subterránea, los colores pueden resaltar, como se aprecia en la figura X. Otro sitio donde se ha pensado colocar este rótulo es en la vidriera de un escaparate de la propia empresa que vende el artículo, para así dar a conocer la prótesis.

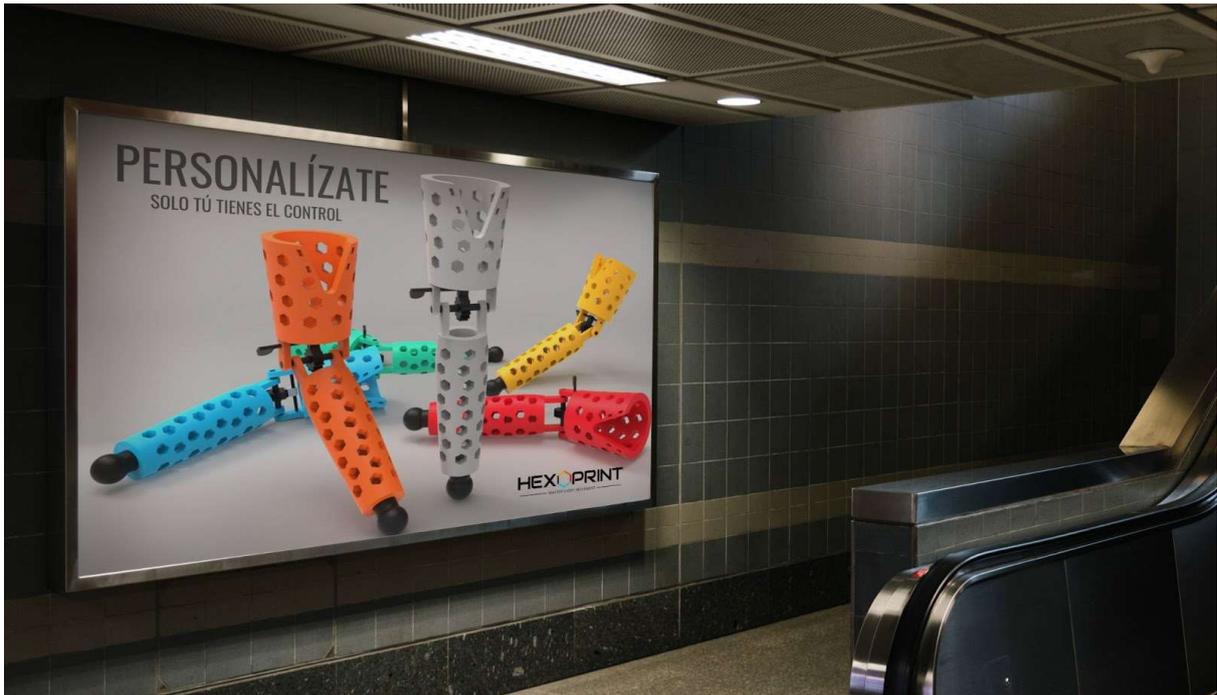


Figura 164: Cartel publicitario 1 MockUp 1. Elaboración propia.

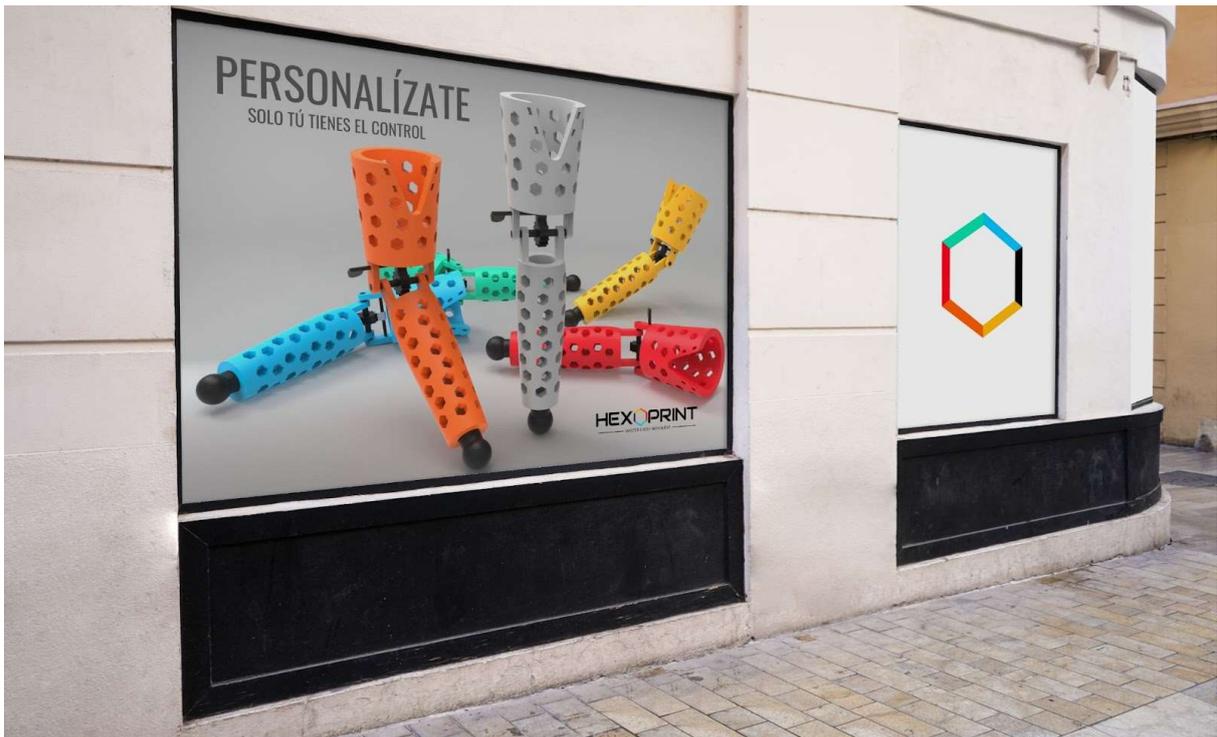
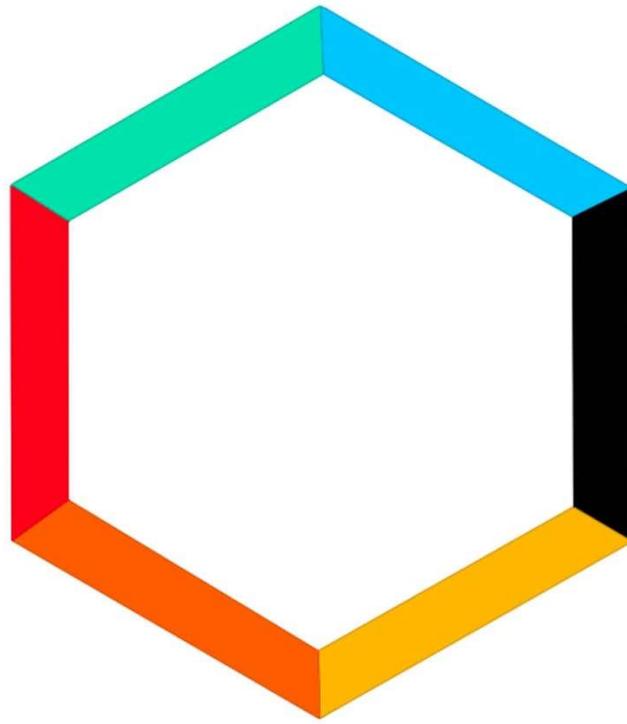


Figura 165: Cartel publicitario 1, MockUp 2

Seguidamente, el otro anuncio que se ha pensado para la publicidad del nuevo producto es más simple, porque intenta ser un código. En el segundo cartel solo se va a mostrar el isotipo del producto en la parte central y bajo este el slogan del logotipo. De este modo se pretende llamar la atención sin dar a conocer el producto, provocando así una emoción de incertidumbre que de pie a buscar en internet. Se ha pensado que su colocación puede ser en las marquesinas de la calle, como se observa en la figura X.



MASTER EVERY MOVEMENT

Figura 166: Cartel publicitario 2. Elaboración propia.

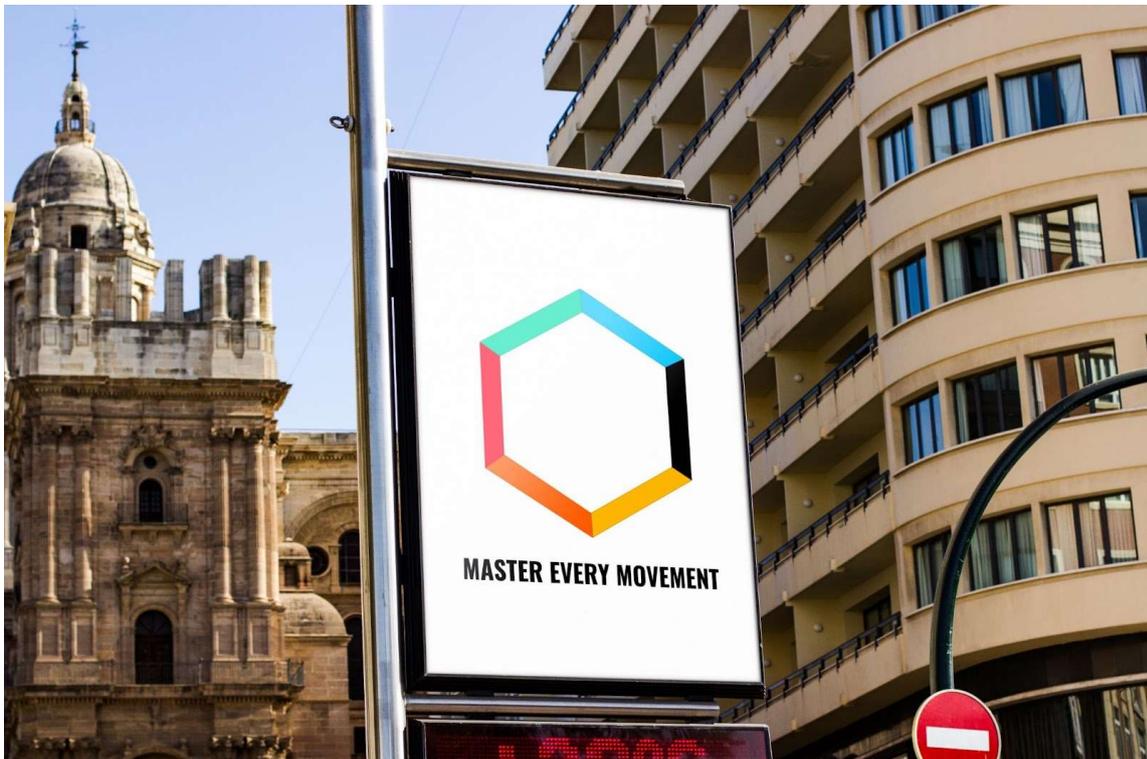


Figura 167: Cartel publicitario 2, mock Up 1. Elaboración propia.

4.2. MAQUETA

Antes de iniciar con el prototipado, se va a realizar una maqueta a escala 1:2, para ver cómo se comportan los elementos, y observar si las partes funcionales de la prótesis son adecuadas.

Para construir la maqueta se van a utilizar los siguientes materiales y herramientas:

- Un churro acuático
- Varillas de madera
- Un cutex
- Pegamento
- Varilla de metal
- Mechero
- Lija
- Planos de las piezas
- Pelota de ping pong



Figura 168: Materiales para la maqueta.

Para comenzar con la maqueta de la prótesis, primero se van a realizar las piezas más grandes, es decir, la pieza 1.1 estructura brazo y la pieza 2.1 estructura antebrazo. Para ello, se tienen las medidas de las dos piezas y se procede a cortar el churro acuático con aproximadamente las medidas de las piezas. En este caso se ha dejado un pequeño margen de error.

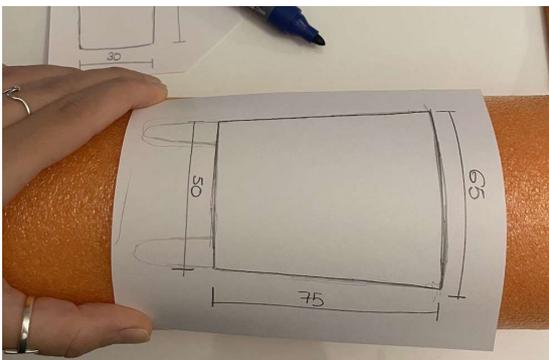


Figura 169 : Dimensiones pieza 1.1.



Figura 170 : Corte del churro acuático

Seguidamente, cuando ya se tienen las dimensiones a grosso modo se procede a realizar el alzado de la pieza en la parte del churro acuático previamente cortado. Y marcarlo para después iniciar el corte.

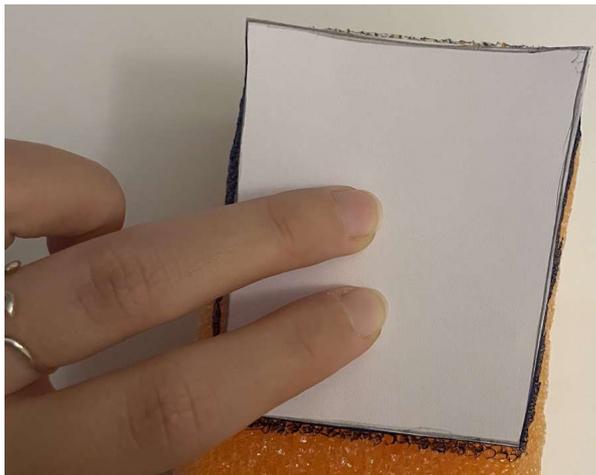


Figura 171: Posición del alzado en el churro.



Figura 172: Corte de la pieza.

A continuación se realiza el corte que la pieza 1.1 contiene en el alzado en forma de V. Primero se realizó con tinta el perfil y luego se cortó.



Figura 173: Perfil del corte en V.

El siguiente paso consiste en realizar todos los procesos anteriores pero en la pieza 2.1.

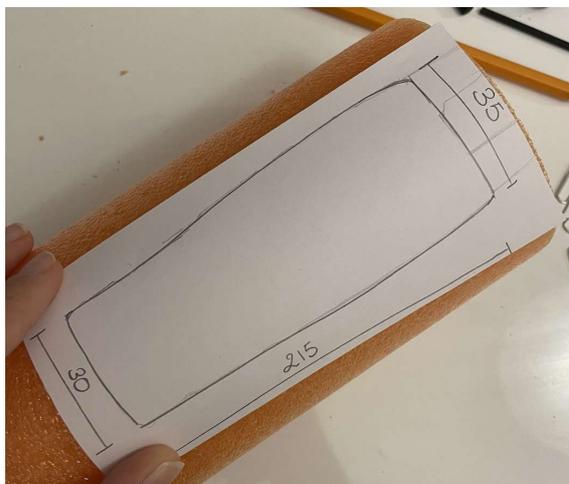


Figura 174: Posición de la pieza 2.1.

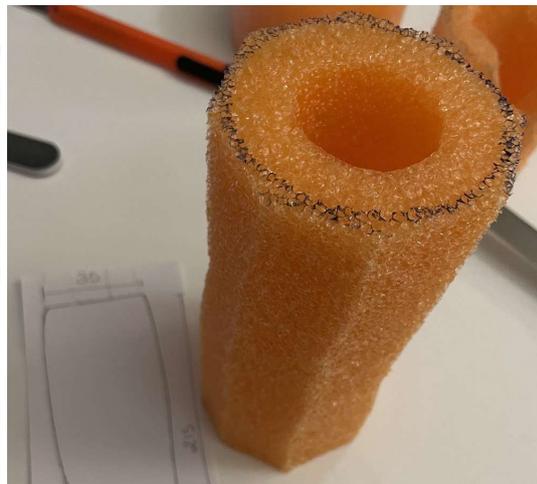


Figura 175: Corte de la pieza 2.1.

Después de la obtención de las piezas más grandes de la prótesis, se hicieron las piezas más pequeñas. En primer lugar se realizó la pieza 4 perteneciente al trinquete, y para ello se dibujó el perfil en una hoja y se colocó sobre un cuadrado del churro acuático. Posteriormente, se recortó lo más exacto posible a la forma final.



Figura 176: Pieza 4 sobre papel.

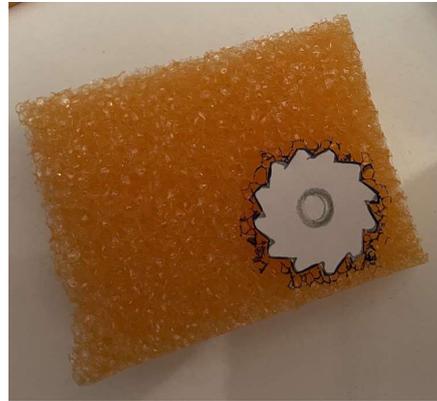


Figura 177: Perfil dibujado sobre churro acuático.

La siguiente pieza que se creó, son las dos pestañas que sobresalen tanto de la pieza 1.1 y la pieza 2.1. Después de realizar el perfil en el corcho acuático, se les realizó los agujeros pasantes que pertenecen al eje principal. El posterior paso se realizó con una varilla de metal que previamente se calentó con un mechero.

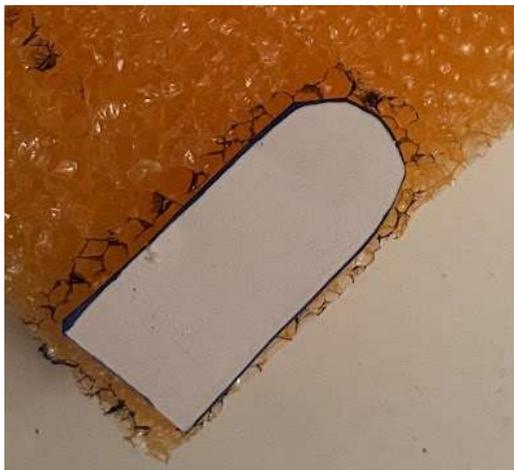


Figura 178: Perfil de las pestañas.



Figura 179: Las cuatro pestañas cortadas.



Figura 180: Las cuatro pestañas con los agujeros.

Seguidamente, se realizaron los dos ejes que se encuentran en la prótesis. Estos dos ejes se realizaron mediante el corte de unas varillas de madera de distintos diámetros. Por parte de la pieza 3 eje principal, la varilla es de 5 mm. Y la varilla de la manivela es de 2 mm.



Figura 181: Medición varilla eje principal.



Figura 182: Medición varilla eje manivela.

Por último, después de la obtención de todas las piezas el siguiente proceso fué crear el patrón hexagonal en las piezas 1.1 y 2.1. Sin embargo, al ser un material sobre el cual es difícil bocetar con exactitud, los hexágonos no quedaron muy estéticos. Pero si se creó la sensación de patrón.



Figura 183: Patrón hexagonal en la maqueta.

Cuando todas las piezas ya estaban listas se realizó el ensamblaje de todas ellas, por partes. El primer ensamblaje fue por parte del subconjunto 1, el cual está formado por la pieza 1.1, la pieza 1.2 y la pieza 1.3.



Figura 184: Subconjunto 1



Figura 185: Ensamblaje de maqueta subconjunto 1

Seguidamente, se realizó el mismo paso con el subconjunto 2.



Figura 186: Subconjunto 2.

Y el último paso, ya es el ensamblaje de todas las piezas pertenecientes al conjunto.



Figura 187: Piezas del conjunto



Figura 188: Conjunto ensamblado.

4.3. PROTOTIPO

En el caso del prototipo se va a realizar con impresión 3D, de esta manera se podrá observar como sería el diseño definitivo del producto. Además, se van a utilizar los materiales seleccionados del apartado 1.10.1.2.1 materiales. De este modo, se obtendrá un prototipo lo más parecido al diseño final.

Antes de iniciar con la impresión de las piezas, se ha realizado un análisis del material FilaFlex 82A ya que como es un nuevo material, no se conoce su comportamiento a la hora de la impresión. Para ello se han realizado dos cilindros en un programa de modelado 3D, y a continuación se han realizado los pasos del apartado 1.10.2.1.3 proceso de fabricación. Sin embargo, el estudio del material está relacionado con el parámetro de relleno de la pieza, y como se trata del material flexible, el primer cilindro va a tener un relleno del 20% y el segundo de un 40%. Con estas dos pruebas, se pretende conocer qué relleno sería el más adecuado para las piezas de las prótesis, ya que deben de ser lo suficientemente flexibles para ajustarse a los distintos usuarios.

A continuación se pueden observar los dos cilindros impresos, y la deformación de cada uno de ellos cuando se realiza una fuerza de pinza.



Figura 189: Imágenes de la impresión cilíndrica con un 20% de relleno

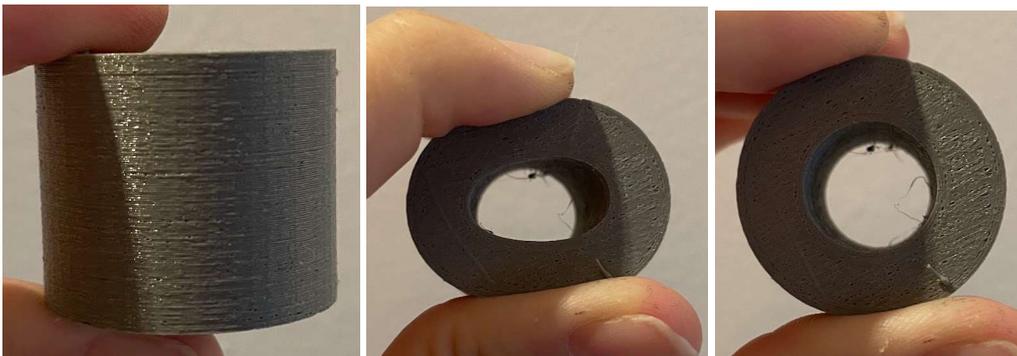


Figura 190: Imágenes de la impresión cilíndrica con un 40% de relleno.

Como se puede observar en las imágenes, el cilindro que tiene un relleno del 20% se deforma más, pero también se observa que vuelve a su estado inicial sin dificultades. Por parte del relleno del 40%, la deformación ya es mucho menor ya que es más difícil su deformación.

Seguidamente, después de realizar el estudio del material flexible se procedió a realizar las piezas en modelo 3D, para su posterior impresión en 3D. A continuación se van a explicar los pasos que se han seguido para realizar cada pieza.

- **PIEZA 1.1: ESTRUCTURA DE BRAZO**

El primer paso que se va a realizar para hacer la pieza 1.1, es el croquis correspondiente al alzado. Donde se va a dibujar una circunferencia en la planta y otra circunferencia en un plano nuevo a una distancia de 150 mm. Y una vez esté realizado el croquis, se va a utilizar la herramienta recubrir, para unir los dos cilindros pertenecientes al paso anterior.

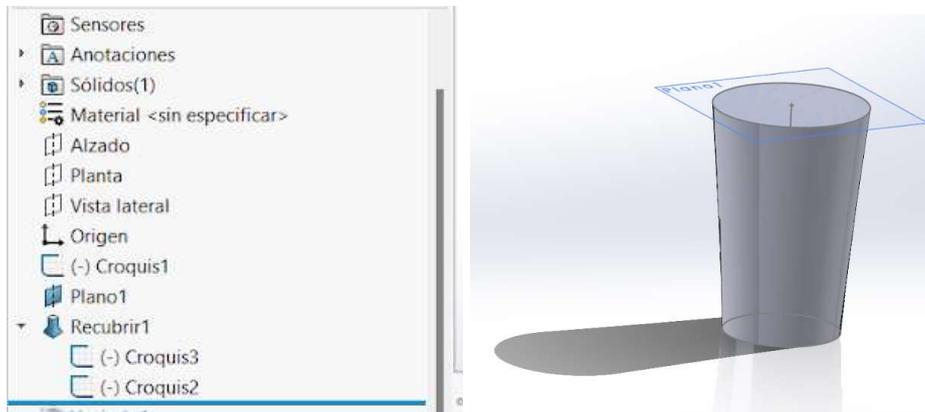


Figura 191: Captura de pantalla SolidWorks. Elaboración propia.

A continuación, como se ha obtenido un modelo cerrado y se quiere un modelo el cual tenga un hueco en el centro se procede a efectuar un vaciado, de tal manera que la superficie restante sea de 15 mm.

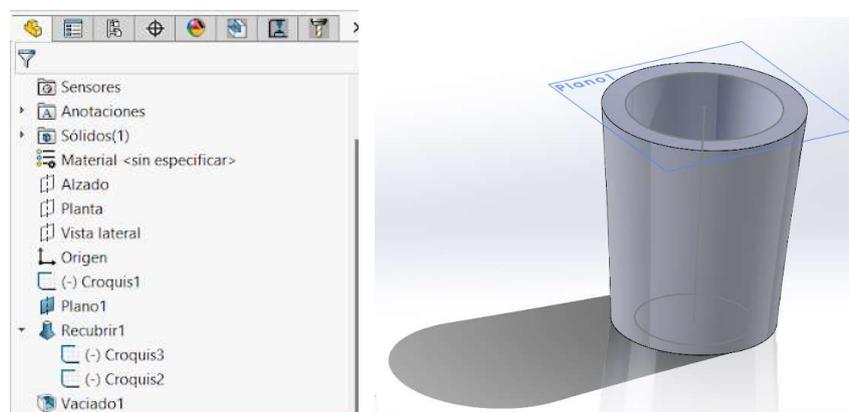


Figura 192: Captura de pantalla, herramienta vaciado SolidWorks. Elaboración propia.

Seguidamente, desde la base del nuevo objeto se va a proceder a dibujar los dos rectángulos salientes que van a ser la unión con las otras piezas. De este modo, se dibujan y con la herramienta extruir se modelan a 40 mm desde la base.

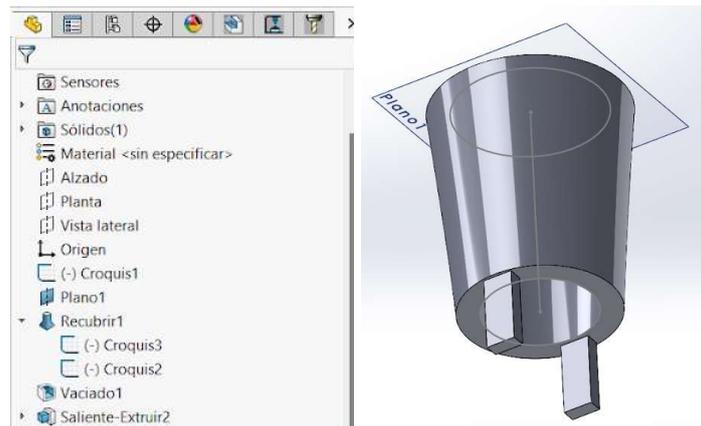


Figura 193: Captura de pantalla extrusiones pieza 1.1. Elaboración propia.

Posteriormente, para no dejar aristas vivas y que el modelo sea más estético se van a redondear las dos extrusiones anteriores.

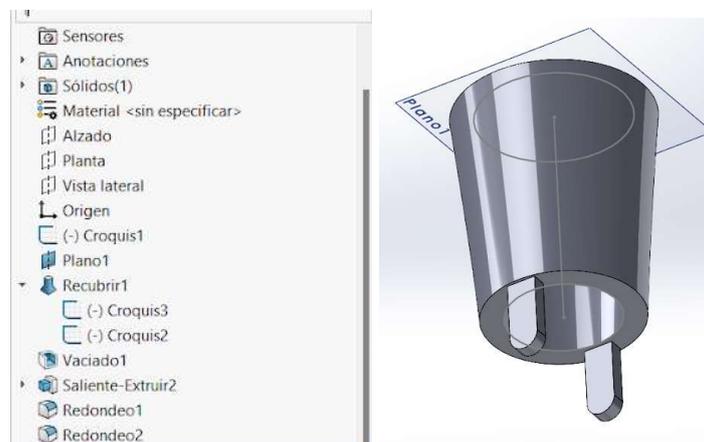


Figura 194: Captura de pantalla SolidWorks, redondeos pieza 1.1. Elaboración propia.

El siguiente paso, es decisivo para el diseño de la pieza ya que va a ser la parte de ajuste de la prótesis. En el plano de alzado se va a dibujar una V en el centro de la pieza, y posteriormente se va a cortar la pieza, creando así un hueco en la misma.

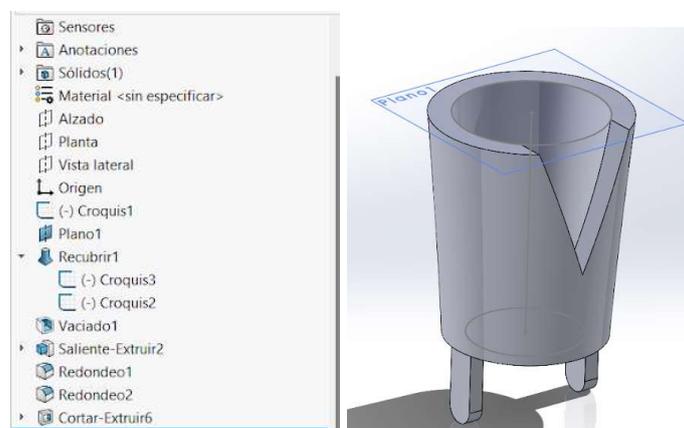


Figura 195: Captura de pantalla SolidWorks, herramienta cortar 1.1. Elaboración propia.

Prosiguiendo con la pieza, a continuación se deben hacer los agujeros en los dos salientes inferiores que van a ser los orificios donde se van a colocar las demás piezas y así unir todos los elementos.

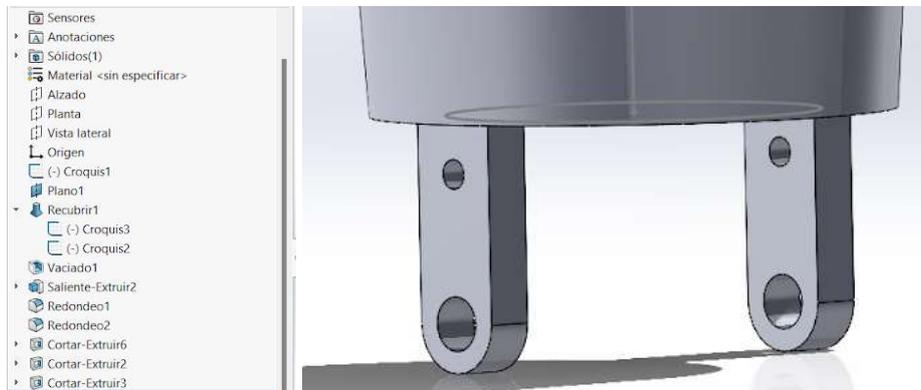


Figura 196: Captura de pantalla SolidWorks, agujeros pieza 1.1. Elaboración propia.

A esta altura del modelado, ya se inicia con la parte estética de la prótesis, es decir, se va a realizar el patrón hexagonal sobre la superficie. Para ello, en el plano de alzado se van a dibujar los hexágonos en una línea vertical. Y posteriormente con la herramienta cortar, se van a reflejar sobre la superficie creando huecos hexagonales.

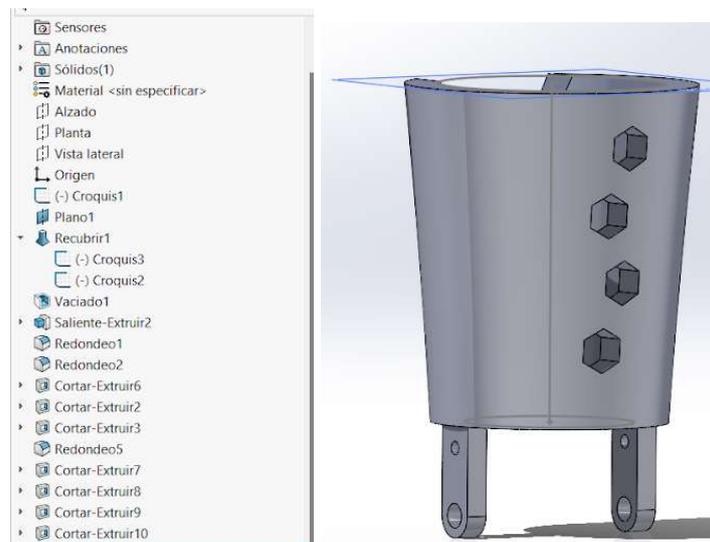


Figura 197: Captura de pantalla SolidWorks, patrón hexagonal pieza 1.1. Elaboración propia.

A continuación, se va a proceder a crear el mismo patrón por toda la superficie y para ello se va a utilizar la herramienta matriz circular y se van a insertar los valores de giro que va a ser 360° y las repeticiones de los hexágonos que van a ser 9.

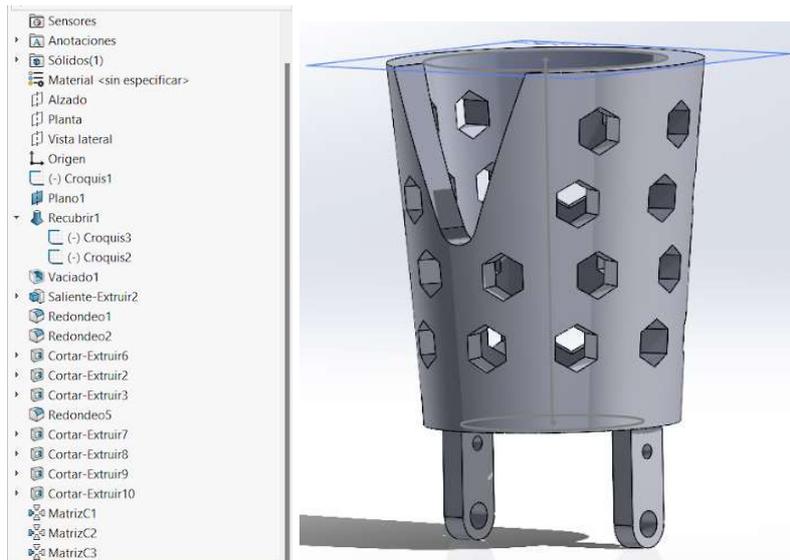


Figura 198: Captura de SolidWorks, herramienta matriz pieza 1.1.Elaboración propia.

Y el último paso perteneciente a esa pieza, es realizar los huecos por los cuales se van a introducir las cintas de velcro. Y se realizan desde el alzado, de tal manera que el hueco es de 15 x 10 mm. Y se coarta esta sección en la pieza principal.

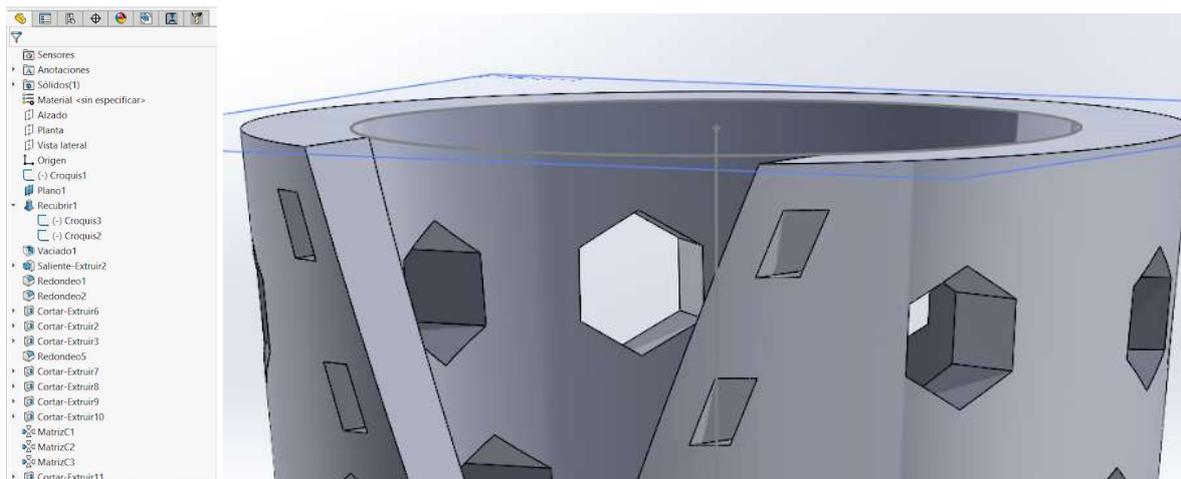


Figura 199: Captura de pantalla SolidWorks, ranuras pieza 1.1Elaboración propia.

- **PIEZA 1.2: EJE MANIVELA**

El primer paso de esta pieza consiste en dibujar un círculo sobre el alzado y posteriormente realizar una extrusión de 130 mm.

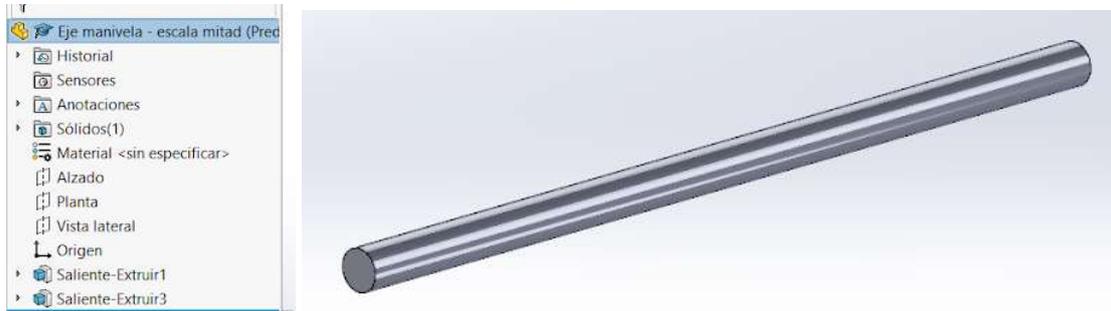


Figura 200: Captura de SolidWorks, herramienta extrusión pieza 1.2. Elaboración propia.

A continuación, en uno de los extremos de la barra se procede a realizar una extrusión de un rectángulo.

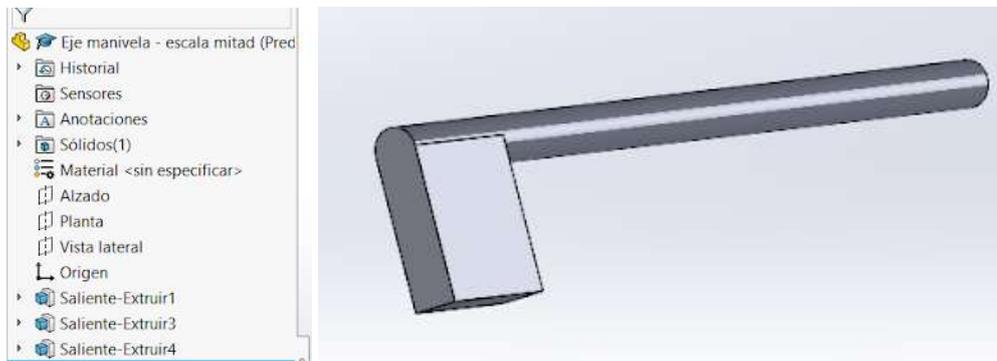


Figura 201: Captura de SolidWorks, herramienta extrusión rectángulo pieza 1.2. Elaboración propia.

Y por último se procede a ejecutar un redondeo en la parte baja de la anterior extrusión para hacer la manivela más estética y matar las aristas vivas.

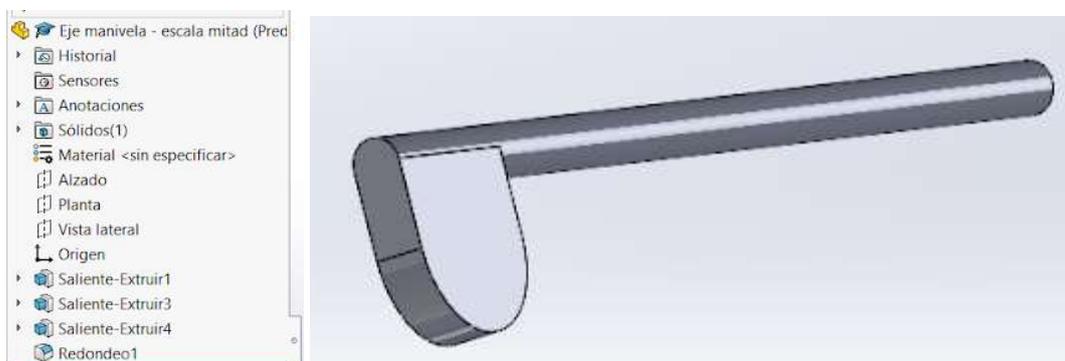


Figura 202: Captura de pantalla SolidWorks, redondeo pieza 1.2. Elaboración propia.

● **PIEZA 1.3: UÑETA**

El modelado de la siguiente pieza es muy sencillo, solo se han realizado dos pasos. En primer lugar se ha dibujado el perfil de la pieza, y posteriormente se ha extruido 15 mm.

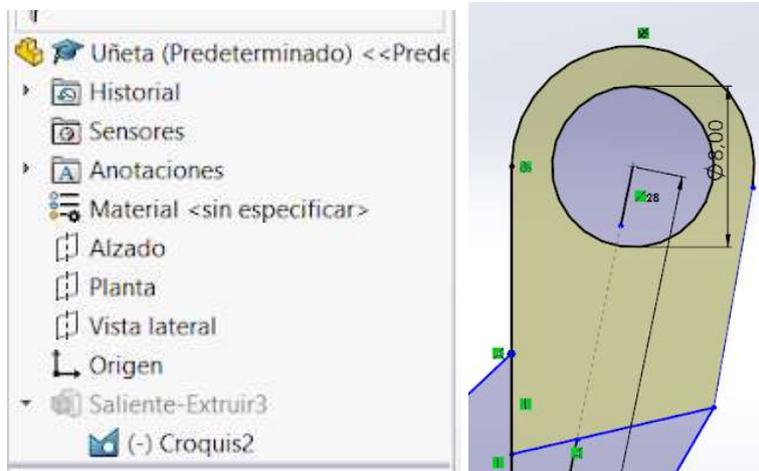


Figura 203: Captura de pantalla SolidWorks, croquis pieza 1.3. Elaboración propia.

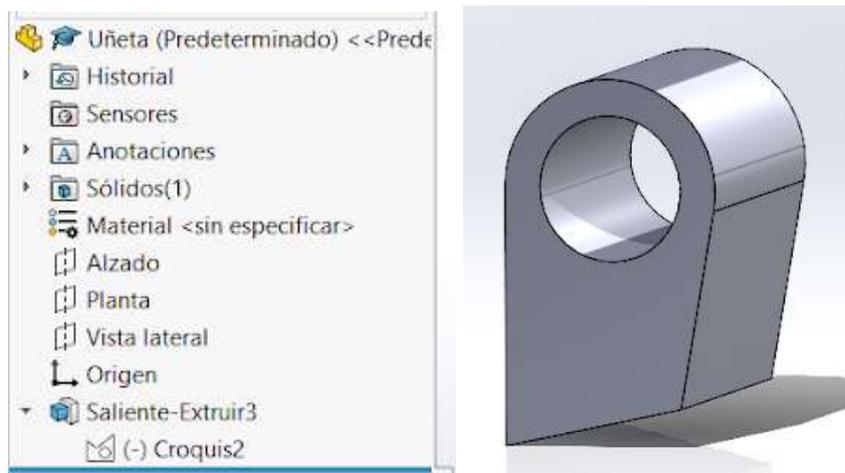


Figura 204: Captura de pantalla SolidWorks, herramienta extrusión pieza 1.3. Elaboración propia.

- **PIEZA 2.1: ESTRUCTURA ANTEBRAZO**

Para el modelado de la siguiente pieza, se realizan los mismos pasos que la pieza 1.1 estructura de brazo. De este modo, se van a insertar las imágenes correspondientes a cada paso con una breve explicación.

En primer lugar se realiza el croquis del perfil, y se realiza la opción de recubrimiento y posteriormente el vaciado.

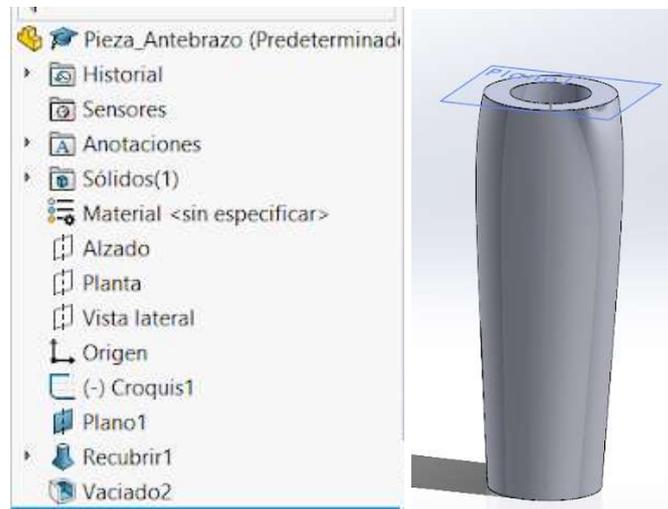


Figura 205: Captura de pantalla SolidWorks, recubrir y vaciado pieza 2.1. Elaboración propia.

El siguiente paso, corresponde al modelado de los dos salientes de la parte superior, que proporcionan la unión entre las dos piezas. Y estas dos extrusiones con sus respectivos redondeos.

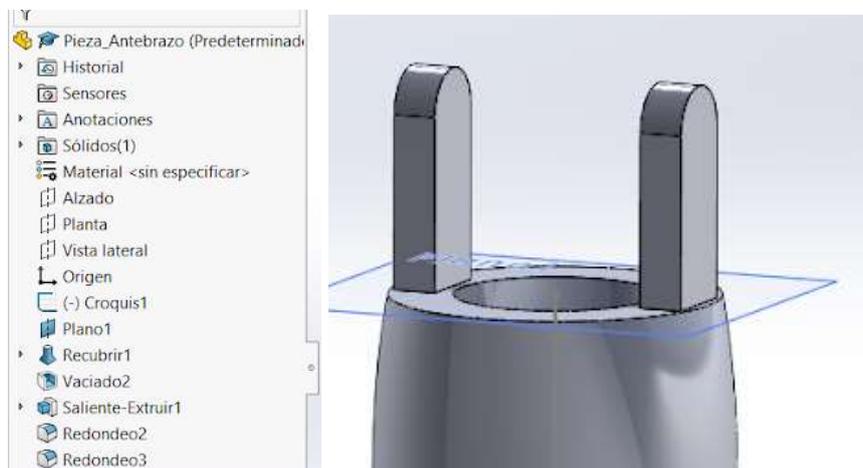


Figura 206: Captura de pantalla SolidWorks, extrusión y redondeo pieza 2.1. Elaboración propia.

Y por último, la realización del patrón hexagonal por toda la superficie de la pieza, que de la misma manera, se realiza con la herramienta de matriz circular. Sin embargo, en este caso se ponen 6 repeticiones.

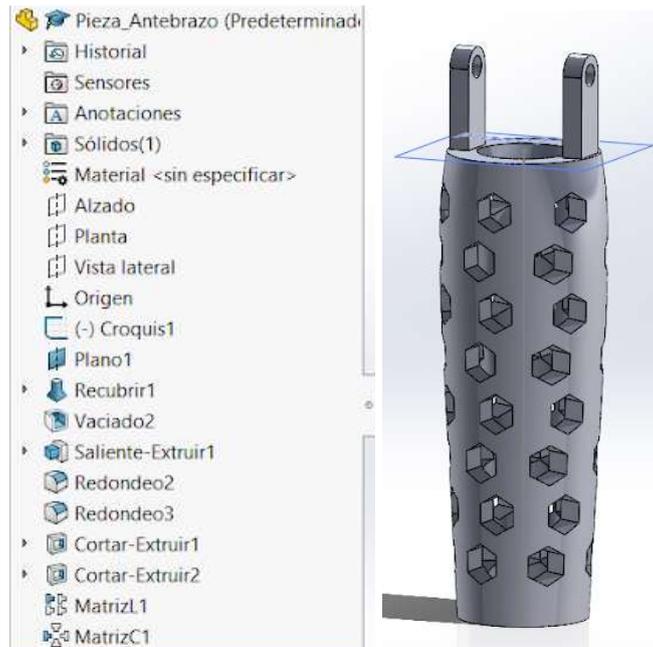


Figura 207: Captura de pantalla, matriz pieza 2.1. Elaboración propia.

● **PIEZA 2.2: UNIÓN ESFÉRICA**

Para la construcción de la siguiente pieza, se debe iniciar por la planta y se dibuja una circunferencia que posteriormente se va a extruir 25 mm.

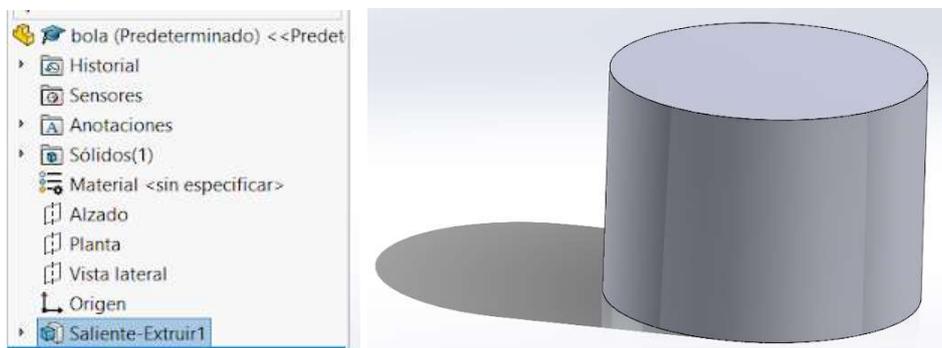


Figura 208: Captura de pantalla SolidWorks, Extrusión pieza 2.2. Elaboración propia.

Seguidamente se dibuja en el alzado una media circunferencia de 45 mm de diámetro y posteriormente con la herramienta revolución, se selecciona y se procede a realizar una esfera.

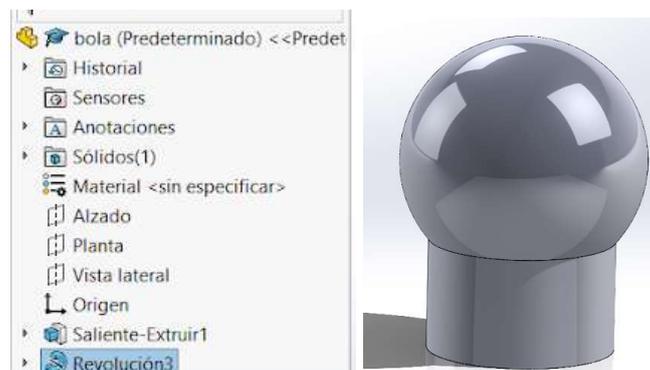


Figura 209: Captura de pantalla SolidWorks, herramienta revolución pieza 2.2. Elaboración propia.

- **PIEZA 3: EJE PRINCIPAL**

Para el modelado de la siguiente pieza solo se debe realizar una acción, se dibuja una circunferencia en el alzado, y se extruye 100mm. Y ya estaría lista la pieza.

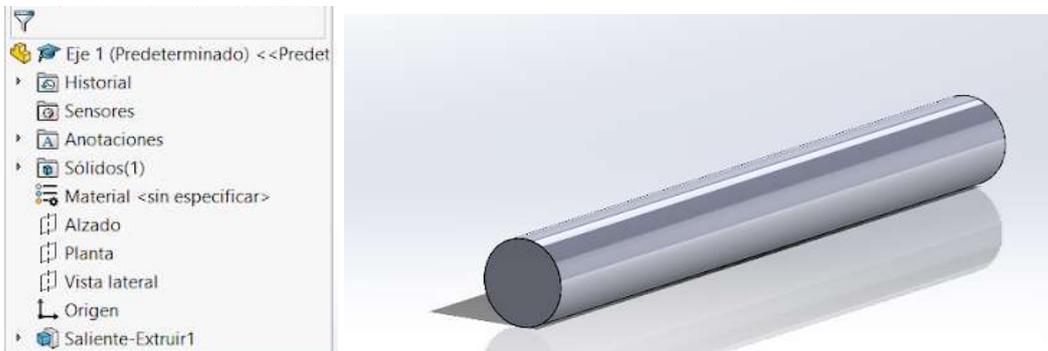


Figura 210: Captura de pantalla SolidWorks, extrusión pieza 3. Elaboración propia.

- **PIEZA 4: TRINQUETE**

Y el último componente de la pieza se trata del trinquete, y para realizar esta pieza en 3D, se ha realizado el mismo paso que el caso anterior. Se ha dibujado el croquis en el alzado y posteriormente se ha extruido 15 mm. Y para realizar el agujero se ha utilizado la herramienta cortar.

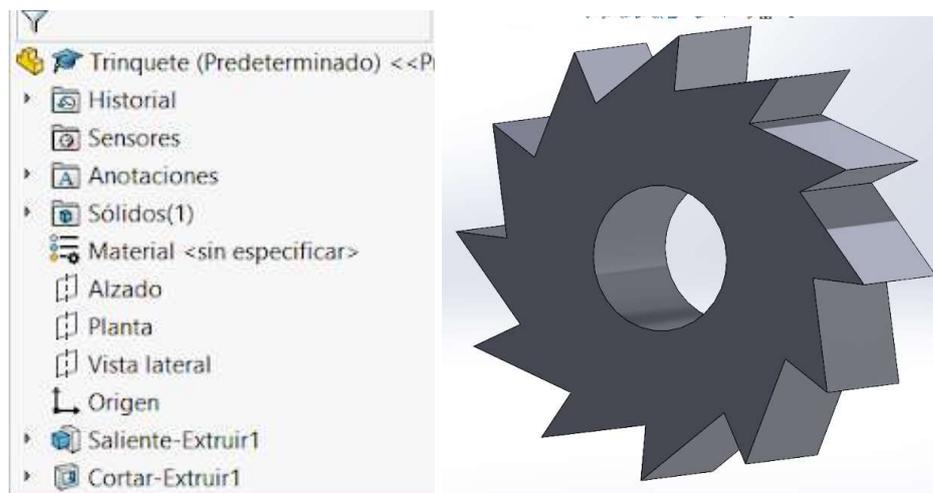


Figura 211: Captura de pantalla SolidWorks, extrusión pieza 4. Elaboración propia.

Después del modelado de las piezas ya se puede iniciar con el proceso de impresión, y para ello se deben seguir los pasos explicados en el apartado 1.10.2.1.3 proceso de fabricación donde están descritos todos los pasos. Por ello, a continuación se pueden ver una serie de imágenes de las piezas impresas. Cabe destacar, que primero se realizó un prototipo a escala 1:2, al igual que la maqueta, y después se intentó realizar el producto en escala 1:1. Sin embargo, como las piezas eran grandes la impresora no tuvo la capacidad suficiente para realizarlas.

- **IMÁGENES DEL PROCESO DE IMPRESIÓN**



Figura 212: Imágenes del proceso de impresión de la pieza 1.1 a escala 1:2. Elaboración propia.

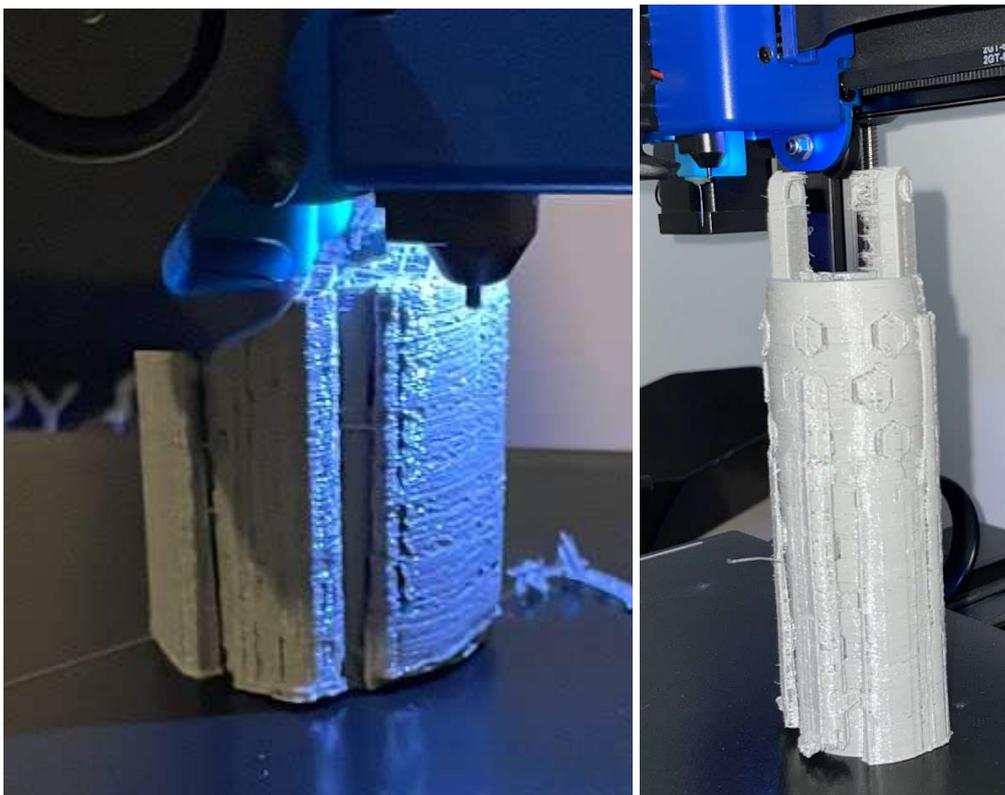


Figura 213: Imágenes del proceso de impresión de la pieza 2.1 a escala 1:2. Elaboración propia.

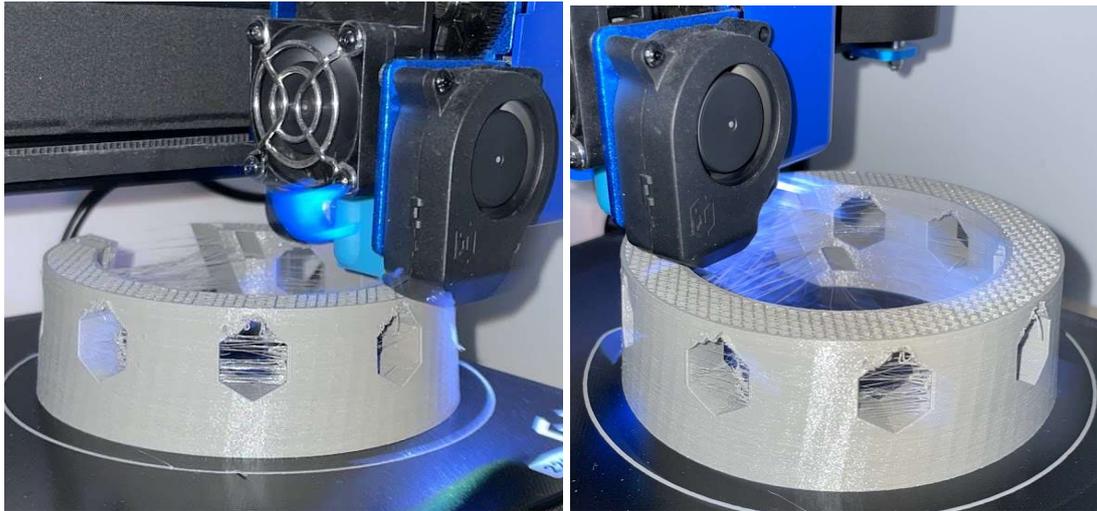


Figura 214 : Imágenes de impresión de la pieza 1.1 a escala 1:1. Elaboración propia.

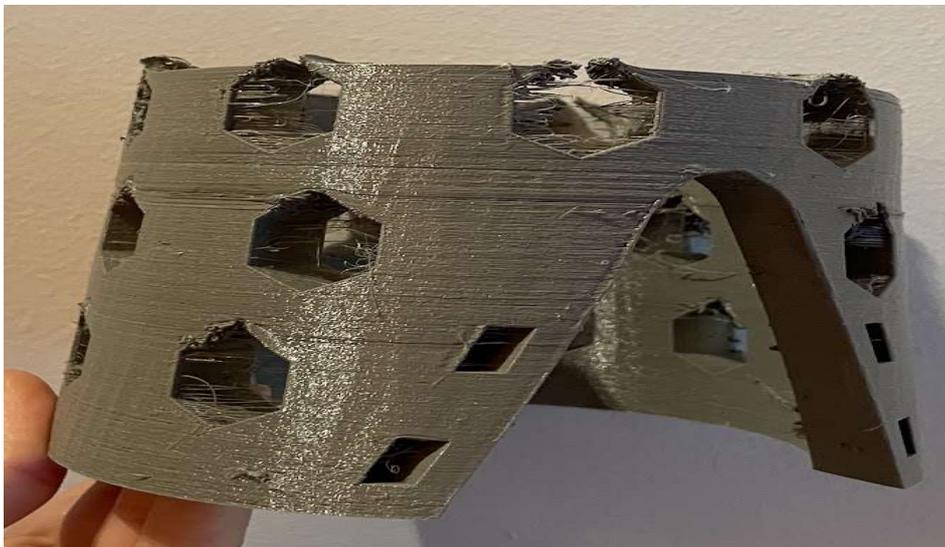


Figura 215: Imágen de la impresión errónea de la pieza 1.1 a escala 1:1. Elaboración propia.

- **IMÁGENES DE LAS PIEZAS IMPRESAS Y ENSAMBLADAS**

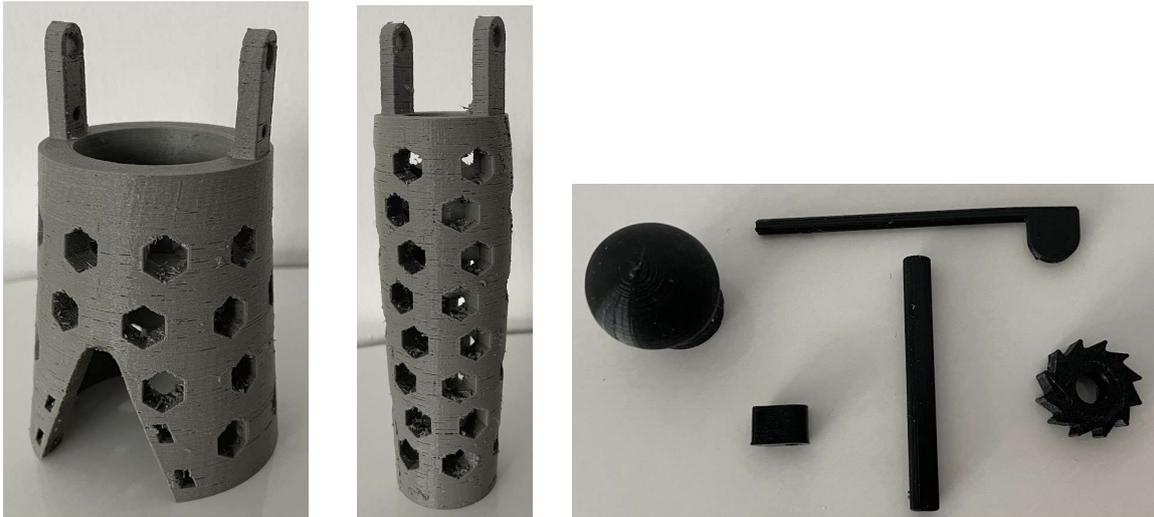


Figura 216: Imágenes de las piezas impresas. Elaboración propia.

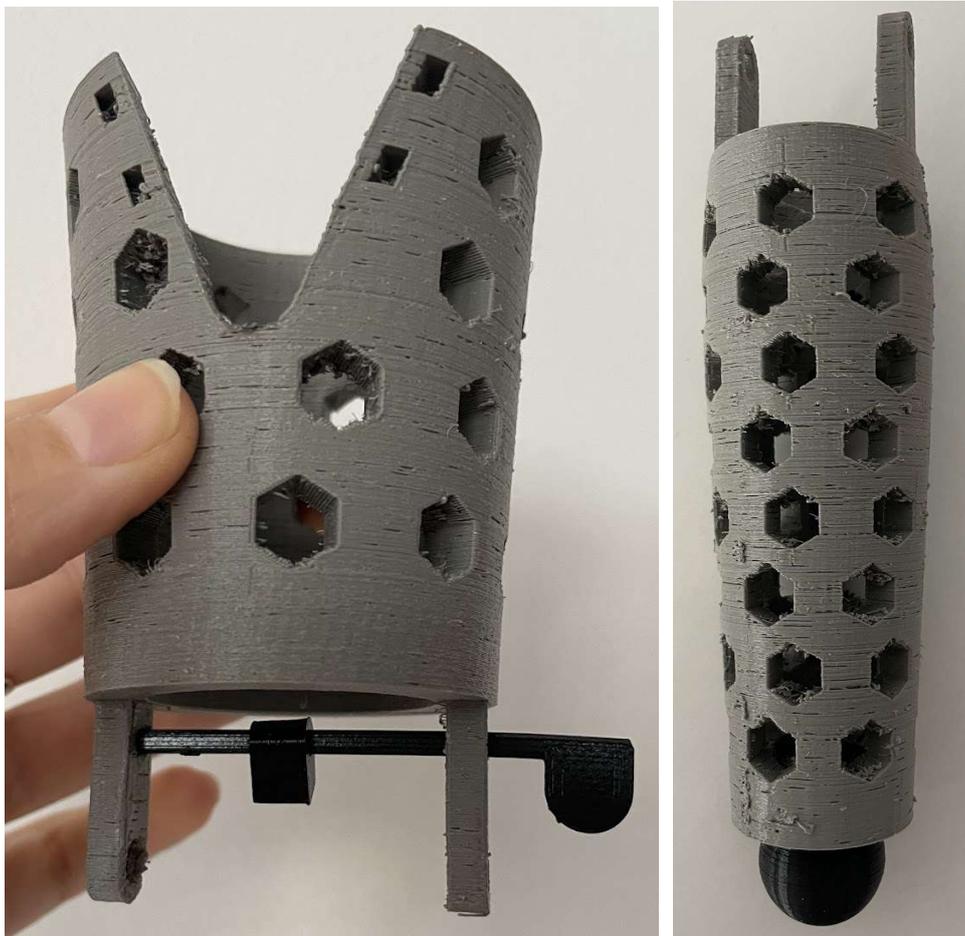


Figura 217: Imágenes de los ensamblajes de los subconjuntos. Imagen de la izquierda subconjunto 1. Imagen de la derecha subconjunto 2. Elaboración propia.



Figura 218: Prototipo de la prótesis a escala 1:2. Elaboración propia.

- **IMÁGENES DE LA MAQUETA Y EL PROTOTIPO JUNTOS**



Figura 220: Maqueta y prototipo del producto a escala 1:2. Elaboración propia.

Como se puede observar en la imagen superior, existen diferencias entre la maqueta y el prototipo y esto es debido a la precisión de la impresión. Además, cabe destacar que la maqueta está sobredimensionada, ya que el chorro acuático tenía el hueco interior más grande de lo previsto. Sin embargo, a nivel visual, los dos productos tienen los mismos elementos y funcionan de la misma manera.

5. PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS

Como se ha estado comentado a la largo de todo el proyecto, el proceso de fabricación de la prótesis es el mismo para todas las piezas, es decir, la impresión 3D con la tecnología FFF (Fused Filament Fabrication).

De este modo, al realizar las condiciones técnicas del conjunto, se propone la unión de las piezas en función de su material de fabricación, ya que es lo único que varía en el desarrollo del objeto.

PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS DE FABRICACIÓN

- **PIEZAS 1.1 Y 1.2**

Material de partida: Bobina de filamento Filaflex 82A.

1ª Operación: impresión de las piezas

- Maquinaria: máquina de impresión 3D.
- Mano de obra: Configuración de la máquina.

Medios auxiliares

- Útiles: No es necesario
- Herramientas: No es necesario

Pasos del proceso

- La manera de proceder en esta operación está explicada en el apartado 1.11.2.1.3 Proceso de fabricación.

Controles

- Verificar que la impresora esté en buen estado.
- Examinar el estado de la bobina del material.
- Inspeccionar el acabado superficial de la pieza.
- Comprobar que las medidas finales de la pieza son adecuadas.
- Confirmar los valores pertenecientes al extrusor y la cama caliente.



Figura 221: Pieza 2.1



Figura 222: Pieza 1.1

- **PIEZAS 1.2, 1.3, 2.2, 3 y 4**

Material de partida: Bobina de filamento PLA.

1ª Operación: impresión de las piezas

- Maquinaria: máquina de impresión 3D.
- Mano de obra: Configuración de la máquina.

Medios auxiliares:

- Útiles: No es necesario
- Herramientas: No es necesario

Pasos del proceso:

- La manera de proceder en esta operación está explicada en el apartado 1.11.2.1.3 Proceso de fabricación.

Controles:

- Verificar que la impresora esté en buen estado.
- Examinar el estado de la bobina del material.
- Inspeccionar el acabado superficial de la pieza.
- Comprobar que las medidas finales de la pieza son adecuadas.
- Confirmar los valores pertenecientes al extrusor y la cama caliente.



Figura 223: Todas las piezas pertenecientes al material PLA

PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS DE ENSAMBLAJE

● SUBCONJUNTO 1: ESTRUCTURA BRAZO

Materiales:

- Pieza 1.1: Brazo
- Pieza 1.2: Eje manivela
- Pieza 1.3: Uñeta

Trabajo a ensamblar

Maquinaria: No es necesario

Mano de obra: Diseñador

Medios auxiliares:

- Útiles: Pegamento

Pasos del proceso:

- Insertar el 1.3 eje manivela por uno de los orificios de la pieza 1.1 brazo.
- Situar la 1.3 uñeta en la posición indicada con el 1.2 eje manivela.
- Poner adhesivo entre las piezas 1.3 y 1.2.
- Pasar el eje manivela por el otro agujero de la pieza 1.1, sin que llegue a sobresalir.

Seguridad: Ropa de trabajo y guantes.

Controles:

- Examinar el adhesivo.
- Verificar que las piezas estén en buen estado para el ensamblaje.
- Controlar que el ensamblaje entre las piezas sea el adecuado.
- Comprobar que los guantes son adecuados para la tarea.

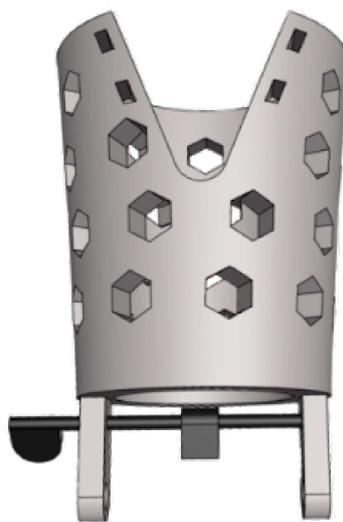


Figura 224: Subconjunto 1

● SUBCONJUNTO 2: ESTRUCTURA ANTEBRAZO

Materiales:

- Pieza 2.1: Antebrazo
- Pieza 2.2: Unión esférica

Trabajo a ensamblar

Maquinaria: No es necesario

Mano de obra: Diseñador

Medios auxiliares:

- Útiles: Pegamento

Pasos del proceso:

- Situar la pieza 2.2 unión esférica en la parte final de la pieza 2.1 antebrazo.
- Insertar pegamento entre las dos piezas, previamente colocadas.

Seguridad: Ropa de trabajo y guantes.

Controles:

- Examinar el adhesivo.
- Verificar que las piezas estén en buen estado para el ensamblaje.
- Controlar que el ensamblaje entre las piezas sea el adecuado.
- Comprobar que los guantes son adecuados para la tarea.

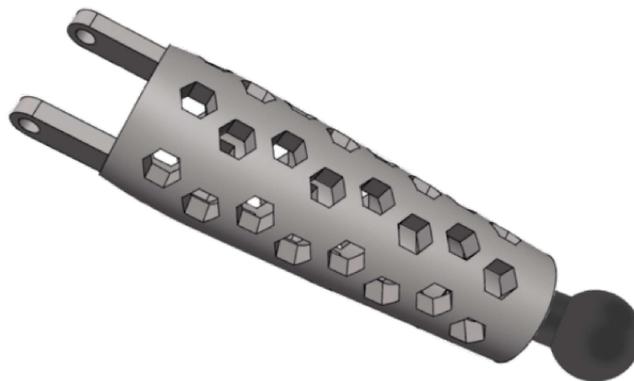


Figura 225: Subconjunto 2

● CONJUNTO PRÓTESIS

Materiales:

- Subconjunto 1: Estructura brazo
- Subconjunto 2: Estructura antebrazo
- Pieza 3: Eje principal
- Pieza 4: Trinquete
- Pieza 5: Tiras de velcro

Trabajo a ensamblar

Maquinaria: No es necesario

Mano de obra: Diseñador

Medios auxiliares:

- Útiles: Pegamento

Pasos del proceso:

- Insertar la pieza 3 eje principal por la cavidad de la pieza 4 trinquete, y colocarla en la posición adecuada.
- Poner pegamento entre las dos piezas anteriores.
- Introducir el eje principal, por los agujeros del subconjunto 2 y posicionarlo correctamente.
- Aplicar adhesivo en las dos uniones correspondientes entre el eje principal y el subconjunto 2 antebrazo.
- Colocar el subconjunto 1 con la pieza 3 eje principal, de tal manera que los extremos del eje principal deben estar a presión con las cavidades circulares del subconjunto 1.
- Insertar las tiras de velcro 5, por las cavidades superiores que tiene la pieza 1.1 brazo.

Seguridad: Ropa de trabajo y guantes.

Controles:

- Examinar el adhesivo.
- Verificar que las piezas estén en buen estado para el ensamblaje.
- Controlar que el ensamblaje entre las piezas sea el adecuado.
- Comprobar que los guantes son adecuados para la tarea.

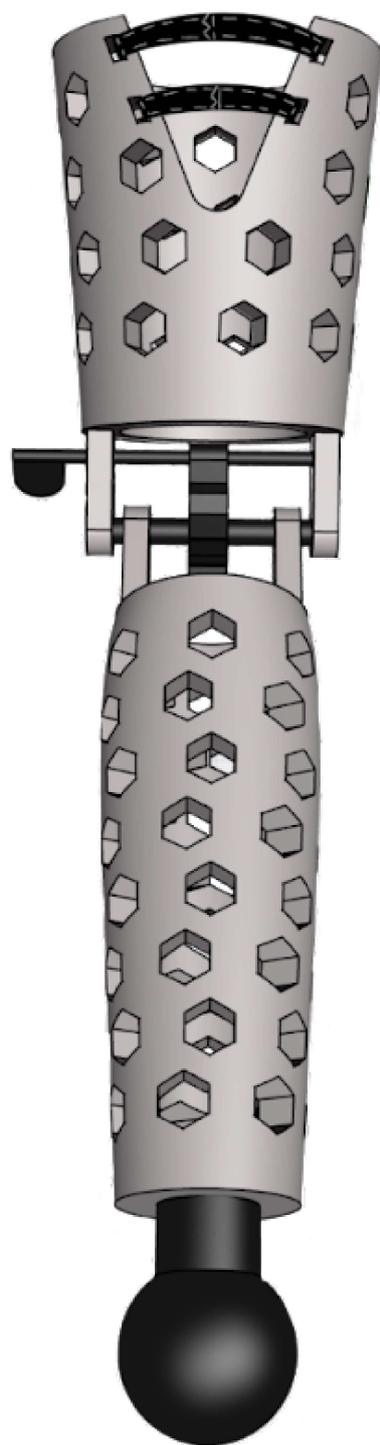


Figura 226: Conjunto prótesis

6. ESTADO DE MEDICIONES / PRESUPUESTO

En este apartado, se encuentra el presupuesto completo y detallado sobre todos los gastos que supone realizar la prótesis. En la siguiente tabla se van a encontrar los mismos precios mencionados en el apartado de viabilidad económica, que solamente hacen referencia a los costes de fabricación de todas las piezas. Y además, los costes extras que están relacionados con el transporte, la industria, el IVA y el beneficio del diseñador.

Los costes extras se han extraído de la base de datos del programa de Arquímedes, con el cual se pueden realizar presupuestos que están relacionados con la construcción y la industria.

Tabla 21: Presupuesto total de la prótesis.

PRÓTESIS					
MATERIA PRIMA					
REF	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (€)	TOTAL
1	FilaFlex 82A	g	513	0,0675€/g	34,6275€
2	PLA	g	55	0,0438€/g	2,4090€
3	Velcro con hebillas	u	5	2,24€	2,24€
4	Pegamento	g	5	0,725 €/g	3,625€
PROCESO DE FABRICACIÓN					
REF	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO AMORTIZACIÓN MÁQUINA	TOTAL
3	Impresora 3D	h	75	250€ (5 años) /0,0057€/h	0,4275€
PROCESO DE ENSAMBLAJE					
REF	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1	Diseñador	h	0,5	10€/h	5€
Total			48,329€		
COSTES EXTRAS					
REF	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TOTAL	
1	Gastos generales	%	13%	6,2827€	
2	Beneficio industrial	%	6%	2,8997€	
3	Transporte	%	2%	0,9665€	
4	IVA	%	21%	10,1490€	
5	Beneficio del diseñador	%	5%	2,4164€	
PRECIO TOTAL			71,0433€		

7. BIBLIOGRAFÍA

- (1) *Un breve recorrido por la historia de la protésica - Amputee Coalition.* (2018, 26 octubre). Amputee Coalition. <https://www.amputee-coalition.org/resources/spanish-history-prosthetics/#:~:text=En%201863%2C%20Dubois%20Parmlee%20invent%C3%B3.fueran%20m%C3%A1s%20livianas%20y%20funcionales.>
- (2) Abax3d. (2022). La historia de la impresora 3D: los orígenes de las primeras máquinas. Abax Innovation Technologies. <https://abax3dtech.com/2020/07/24/historia-de-la-impresora-3d/> [Consulta: 7 de marzo 2023]
- (3) Kumótica. (2022, 2 mayo). Historia de la impresión 3D: Año a año. Kumótica. <https://kumotica.es/blog/impresion-3d/historia-de-la-impresion-3d-ano-a-ano#:~:text=el%20objeto%20f%C3%ADsicamente.-,2008%20%2D%20Fabricaci%C3%B3n%20de%20la%20primera%20pierna%20de%20pr%C3%B3tesis%20impresa%20en,y%20sin%20necesidad%20de%20montaje.>
- (4) *Materiales usados en la protésica - Segunda parte - Amputee Coalition.* (2017, 18 diciembre). Amputee Coalition. <https://www.amputee-coalition.org/resources/spanish-materials-prosthetics-part-2/>
- (5) *Guía de materiales de impresión 3D: Tipos, aplicaciones y propiedades.* (s. f.). Formlabs. <https://formlabs.com/es/blog/materiales-impresion-3d/>
- (6) Irigaray, I. (2019, 26 abril). *Materiales más usados en impresión 3D [INDUSTRIA].* scan-3dprint. <https://www.scan-3dprint.com/impresion-3d-materiales-industria/>
- (7) *Guía de materiales de impresión 3D: Tipos, aplicaciones y propiedades.* (s. f.-b). Formlabs. <https://formlabs.com/es/blog/materiales-impresion-3d/>
- (8) 3Dnatives. (2023, 16 mayo). *La impresión 3D de metal: Guía completa sobre la tecnología - 3Dnatives.* <https://www.3dnatives.com/es/guia-impresion-3d-metal/#!>

- (9) S, S. (2022). Guía completa: los materiales cerámicos y orgánicos en la impresión 3D. *3Dnatives*.
<https://www.3dnatives.com/es/descubriendo-los-materiales-de-la-impresion-3d-ceramicos-y-organicos-22072015/>
- (10) Asale, R.-. (s. f.). *prótesis* | *Diccionario de la lengua española*. «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. <https://dle.rae.es/pr%C3%B3tesis>
[Consulta: 15 de febrero 2023]
- (11) *Diccionario de cáncer del NCI*. (s. f.). Instituto Nacional del Cáncer. <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/amputacion> [Consulta: 15 de febrero 2023]
- (12) *Muñón*. *Diccionario médico*. *Clínica Universidad de Navarra*. (s. f.). <https://www.cun.es>. <https://www.cun.es/diccionario-medico/terminos/munon>
[Consulta: 15 de febrero 2023]
- (13) Stokosa, J. J. (2021). *Opciones de prótesis de miembros*. Manual MSD versión para público general. <https://www.msmanuals.com/es-es/hogar/temas-especiales/miembro-prot%C3%A9sico/opciones-de-pr%C3%B3tesis-de-miembros> [Consulta: 21 de febrero 2023]
- (14) Lemus, L. E. (2022). *Prótesis Ortopédicas: ¿Qué son y cuál es su función?* *Mi Prótesis de Pierna*. <https://miptesisdepierna.mx/blog/protesis-ortopedicas/>
[Consulta: 22 de febrero 2023]
- (15) Digital, N. (s. f.). *Prótesis Ortopédicas - ArthroCentral*. ArthroCentral. <http://arthrocentral.com/protesis-ortopedicas/> [Consulta: 21 de febrero 2023]
- (16) Ortoprono. (2022, 17 junio). *¿Qué tipos de ortesis existen y para qué sirven?* - Ortoprono. Ortoprono. <https://ortoprono.es/blog/ortopedia-tecnica/tipos-de-ortesis/>
- (17) Romero, C., & Romero, C. (2021). *Prótesis estéticas de miembro superior* | Mediprax. *Mediprax*. <https://mediprax.mx/protesis-esteticas-de-miembro-superior/>
- (18) Sinbarreras. (2021). *¿Qué son las prótesis mioeléctricas?* *Salvaescaleras, Plataformas y Accesibilidad I VALIDA*.

<https://www.valida.es/blog/post/que-son-las-protesis-mioelectricas/#:~:text=Las%20pr%C3%B3tesis%20mioel%C3%A9ctricas%20realizan%20movimientos,la%20musculatura%20de%20su%20brazo>

- (19) Administrator. (s. f.). *Prótesis valvulares*. Fundación Española del Corazón. <https://fundaciondelcorazon.com/informacion-para-pacientes/tratamientos/protesis-valvulares.html>
- (20) Admin. (2018, 11 abril). Cómo funciona y se ajusta una prótesis mioeléctrica. *Ortosur*. <https://www.ortosur.es/como-funciona-protesis-mioelectrica/>
- (21) Julián Saiz Clínica Dental. (2023). ¿Qué es una prótesis dental y qué tipos existen? *Clinica dental Julián Saiz*. <https://clinicajuliansaiz.com/blog/que-es-una-protesis-dental/>
- (22) Yepes Ocularista. (2022, 11 marzo). *Prótesis Faciales - Yepes Ocularista*. Prótesis Oculares. <https://protesisoculares.es/protesis-faciales/>
- (23) *protesis-auditiva*. (s. f.). <https://www.audika.es/blog-de-la-audicion/protesis-auditiva>
- (24) Mediprax, & Mediprax. (2021). TIPOS DE PROTESIS PARA MIEMBRO SUPERIOR | *Mediprax*. *Mediprax*. <https://mediprax.mx/tipos-de-protesis-para-miembro-superior/#:~:text=Las%20pr%C3%B3tesis%20mec%C3%A1nicas%20son%20pr%C3%B3tesis,en%20cuanto%20a%20sus%20movimientos>. [Consulta: 24 de febrero 2023]
- (25) *Prótesis mecánicas e híbridas | Ortopedia Jens Muller*. (s. f.). <http://ortopediajensmuller.com/servicio-de-fabricacion/protesis-de-miembro-superior/protesis-mecanicas-e-hibridas/>
- (26) *Guía de uso y prescripción de productos ortoprotésicos a medida*. (1999).
- (27) Impresoras3d.com. (2023). Tipos de impresoras 3D. *impresoras3d.com*. <https://www.impresoras3d.com/tipos-de-impresoras-3d/>

- (28) M, A. (2023). Binder Jetting vs Material Jetting, ¿qué tecnología utilizar? *3Dnatives*. <https://www.3dnatives.com/es/binder-jetting-material-jetting-300920212/#!>
- (29) Mizaradditive. (2022, 30 junio). Tecnologías de Fabricación aditiva: Powder Bed Fusion (PBF) - Mizar Additive. *Mizar Additive*. <https://mizaradditive.com/fabricacion-aditiva-powder-bed-fusion/>
- (30) Systèmes, D. (2022). Deposición de energía dirigida. *Dassault Systèmes*. <https://www.3ds.com/es/make/guide/process/directed-energy-deposition>
- (31) Systèmes, D. (2023). Laminación de láminas. *Dassault Systèmes*. <https://www.3ds.com/es/make/guide/process/sheet-lamination>
- (32) *Impresión Multi Jet Fusion (MJF) 3D: ¿qué es y cómo funciona?* (s. f.). <https://www.weerg.com/es/guias/multi-jet-fusion-mjf-3d-que-es-y-como-funciona>
- (33) Dufour, M., Pillu, M., Langlois, K., & Del Valle Acedo, S. (2018). *Biomecánica funcional: miembros, cabeza, tronco*.
- (34) Monedero, M. V., & Agost, M. J. (2015). *Antropometría aplicada al diseño de producto*.
- (35) Miguel, P. R. (2021). Todo lo que debes saber sobre amputaciones. *MBA blog*. <https://www.mba.eu/blog/todo-lo-que-debes-saber-sobre-amputaciones/>
- (36) Mediprax, & Mediprax. (2022). Generalidades de las amputaciones de miembro superior. *Mediprax*. <https://mediprax.mx/generalidades-de-las-amputaciones-de-miembro-superior/>
- (37) *El muñón | Amputats Sant Jordi*. (s. f.). <https://www.amputats-santjordi.org/es/el-munon>
- (38) Acal, A. C. (2022, 1 julio). Síndrome del miembro fantasma: cómo tratar el dolor de una amputación. *CuidatePlus*. <https://cuidateplus.marca.com/bienestar/2022/07/02/sindrome-miembro-fantasma-tratar-dolor-amputacion-179899.html#:~:text=El%20s%C3%ADndrome%20del%20dolor%20fantasma,originarse%20en%20el%20sistema%20nervioso>

- (39) Codo: prótesis Coonrad-Morrey. (s. f.).
<https://centralsanitaria.com/ortopedia/protesis-de-miembro-superior/codo-protesis-coonrad-morrey/>
- (40) ECVerde. (2022, 20 diciembre). Por qué las arañas ponen diseños en sus telas - ECVerde. Economía Circular Verde.
<https://economiacircularverde.com/por-que-las-aranas-ponen-disenos-en-sus-telas/>
- (41) José, M. (2022, 26 julio). ¿Sabes por qué los triángulos se utilizan en construcción? | Serycoin. Serycoin.
<https://serycoin.com/sabes-los-triangulos-estan-todas-partes/>
- (42) Aceromafe, R. (2023). Características del material ABS y motivos para usarlo. Aceromafe. <https://www.aceromafe.com/material-abs/>
- (43) Asale, R.-. (s. f.-a). éter | *Diccionario de la lengua española*. «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. <https://dle.rae.es/%C3%A9ter>
- (44) Prime. (2022). Plástico PLA: qué es y para qué se utiliza este material. Primebiopolymers. <https://primebiopol.com/plastico-pla-que-es-y-para-que-se-utiliza/>
- (45) O'Connell, J. (2021). ABS vs PLA: Comparación de filamentos para impresión 3D. All3DP. <https://all3dp.com/es/2/abs-vs-pla-filamento-impresion-3d-plastico/>
- (46) Recreus. (s. f.). Filamento Flexible Filaflex 82A | TPU para impresión 3D. https://recreus.com/es/filamentos/9-684-filaflex-82a.html#/1-color-negro/2-diametro-175_mm/3-peso-500_gr
- (47) Lee, H., Lee, Y., & Lee, Y. (2019). Evaluation of the Mechanical Properties of Porous Thermoplastic Polyurethane Obtained by 3D Printing for Protective Gear. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2019, 1-10.
<https://doi.org/10.1155/2019/5838361>
- (48) Gómez, J. (s. f.). Dispositivo de medición de fuerza de los dedos y su rol en el seguimiento de las funciones de la mano. *scielo.isciii.es*.
<https://doi.org/10.4321/s0376-78922022000200013>

- (49) TintasyTonerCompatibles.es. (2021). Partes de la impresora 3D y su funcionamiento. *BLOG* | *TintasyTonerCompatibles.es*.
<https://www.tintasytonercompatibles.es/blog/partes-de-la-impresora-3d/>
- (50) Impresoras3d.com. (2022). El pegamento para impresión 3D que necesitas. *impresoras3d.com*.
<https://www.impresoras3d.com/sabes-que-tipo-de-pegamento-usar-para-unir-tus-objetos-impresos/>
- (51) Henkel. (2022). Super glue: todo lo que necesitas saber. *www.loctitesuperglue-3.com*.
<https://www.loctitesuperglue-3.com/es/guia-reparacion/home-repairs/super-glue-todo-lo-que-necesitas-saber.html#E>
- (52) *Figura 1-* JyE. (s. f.). *La pata de palo* | *Llevate todo*.
<https://llevatetodo.com/la-pata-de-palo/> [5 de junio 2023]
- (53) *Figura 2 - Ambroise Paré y las heridas por arma de fuego.* (s. f.). Ambroise Paré y las heridas por arma de fuego | El Diario de Salud.
<https://eldiariodesalud.com/catedra/ambroise-pare-y-las-heridas-por-arma-de-fuego/> [5 de junio 2023]
- (54) *Figura 3 - Nuestra historia* | *3D Systems*. (2021, 24 septiembre). 3D Systems.
<https://es.3dsystems.com/our-story> [5 de junio 2023]
- (55) *Figura 4 - González, J. C.* (2012). WREX, un exoesqueleto para niños con discapacidad creado con una impresora 3D. *Xataka*.
<https://www.xataka.com/makers/wrex-un-exoesqueleto-para-ninos-con-discapacidad-creado-con-una-impresora-3d> [5 de junio 2023]
- (56) *Figura 5-* Olivares, D. (2021, 31 mayo). La India es el primer exportador de cuero a España - *MuyPymes*. *MuyPymes*.

- <https://www.muypymes.com/2019/03/31/la-india-es-el-primer-exportador-de-cuero-a-espana> [5 de junio 2023]
- (57) Figura 6- Emedec. (2022, 31 agosto). *Madera certificada: ¿Qué es? ¿Y por qué es importante?* - Emedec. Emedec. <https://www.emedec.com/madera-certificada-que-es-y-por-que-es-importante/> [5 de junio 2023]
- (58) Figura 7 -Amazon.es. (s. f.). https://www.amazon.es/natural-confeccionar-pulgadas-tapicer%C3%ADa-decoraci%C3%B3n/dp/B07T356WCF/ref=asc_df_B07T356WCF/?tag=googshopes-21&linkCode=df0&hvadid=381542292663&hvpos=&hvnetw=g&hvrnd=8532053191617711458&hvpon=&hvptwo=&hvqmt=&hvdev=c&hvdvcmid=&hvlocint=&hvlocphy=9048968&hvtargetid=pla-787793998759&pvc=1 [5 de junio 2023]
- (59) Figura 8 - Sarabia, R. (s. f.). *Tubos de acero al carbón con y sin costura.* <https://blog.laminasyaceros.com/blog/tubos-de-acero-al-carb%C3%B3n-con-y-sin-costura> [5 de junio 2023]
- (60) Figura 9- Camacho, M. A. (s. f.). *Análisis y caracterización de polímeros mediante Pirolysis-Cromatografía de gases (Py-GC).* <https://blog.analitek.com/analisis-y-caracterizacion-de-polimeros-mediante-pirolisis-cromatografia-de-gases-py-gc-0-1> [5 de junio 2023]
- (61) Figura 10- Leister, D., & Leister, D. (2020, 28 julio). Impresión 3D: ¿ya no es una amenaza para la fabricación tradicional de plástico? *Ciencia Acelerada.* <https://www.thermofisher.com/blog/cienciaacelerada/materiales/impresion-3d-ya-no-es-una-amenaza-para-la-fabricacion-tradicional-de-plastico/> [5 de junio 2023]
- (62) Figura 11 - 3Dnatives. (2023b, mayo 16). *La impresión 3D de metal: Guía completa sobre la tecnología* - 3Dnatives. <https://www.3dnatives.com/es/guia-impresion-3d-metal/> [5 de junio 2023]

- (63) Figura 12- C, L., & C, L. (2019). Impresión 3D de cerámica: ¿Una revolución dentro de la fabricación aditiva? *3Dnatives*. <https://www.3dnatives.com/es/impresion-3d-de-ceramica-170420192/> [5 de junio 2023]
- (64) Figura 15 - S, S. (2022b). Guía completa: los materiales cerámicos y orgánicos en la impresión 3D. *3Dnatives*. <https://www.3dnatives.com/es/descubriendo-los-materiales-de-la-impresion-3d-ceramicos-y-organicos-22072015/> [5 de junio 2023]
- (65) Figura 16- *Prótesis de pierna medida en Bilbao | Ortopedia Galdakao*. (s. f.). <https://www.ortopediagaldakao.es/fabricacion-a-medida/protesis-pierna-bilbao/> [5 de junio 2023]
- (66) Figura 17-SaluDigital.es. (2017, 2 junio). SuperGiz, la prótesis mecánica que devuelve la movilidad a los niños. *Saludigital*. https://www.consalud.es/saludigital/71/supergiz-la-protesis-mecanica-que-devuelve-l-a-movilidad-a-los-ninos_41582_102.html [5 de junio 2023]
- (67) Figura 18- *PRÓTESIS MIOELÉCTRICA BENATURAL J-HT-02*. (s. f.). Efmo. <https://efmo.com/pr%C3%B3tesis-mioel%C3%A9ctrica-benatural-j-ht-02> [5 de junio 2023]
- (68) Figura 19 - *Figura 1. Prótesis estéticas [21]*. (s. f.). ResearchGate. https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Protosis-esteticas-21_fig1_312081540 [5 de junio 2023]
- (69) Figura 20 - *www.entercomunicacion.com*. (s. f.). *Altuna & Saga | Otorrinolaringología*. <https://www.altunasaga.com/rehabilitacion-auditiva/audifonos-protesis-auditivas> [5 de junio 2023]
- (70) Figura 21- <https://www.quironsalud.es/hospital-madrid/es/cartera-servicios/cirugia-cardiaca/guia-paciente/principales-protesis> [5 de junio 2023]

- (71) Figura 22 - M, A. (2020). Fabrican prótesis faciales con un software de fotogrametría. *3Dnatives*.
<https://www.3dnatives.com/es/protesis-faciales-software-fotogrametria-20012020/> [5 de junio 2023]
- (72) Figura 23- Julián Saiz Clínica Dental. (2023b). ¿Qué es una prótesis dental y qué tipos existen? *Clinica dental Julián Saiz*.
<https://clinicajuliansaiz.com/blog/que-es-una-protesis-dental/> [5 de junio 2023]
- (73) Figura 24- Mediprax, & Mediprax. (2021a). PRÓTESIS MIEMBRO SUPERIOR COSMÉTICAS Y FUNCIONAL | Mediprax. *Mediprax*.
<https://mediprax.mx/protesis-de-miembro-superior-con-fines-cosmeticos-y-funcionale/s/> [5 de junio 2023]
- (74) Figura 24- <https://divulgaciencia.uta.edu.ec/v4.0/index.php/comunidad/94-jovenes-presenta-la-evolucion-tecnologica-de-las-protesis-de-mano-durante-estos-ultimos-anos>[5 de junio 2023]
- (75) Figura 25- Fisioterapia. (s. f.). *Las Prótesis Mioeléctricas*.
<http://fisioterapia.blogspot.com/2013/02/las-protesis-mioelectricas.html> [5 de junio 2023]
- (76) Figura 26- userInt3rvi0nic. (2017). PRÓTESIS MECÁNICAS E HÍBRIDAS. *Interbionic*. <https://interbionic.mx/protesis-mecanicas-e-hibridas/> [5 de junio 2023]
- (77) Figura 27- Admin, & Admin. (2023). Prótesis de pierna para deportistas (Prótesis movilidad y deporte). *Proviem Clínica de Movilidad - Prótesis de Pierna y Brazo*.
<https://proviem.com.mx/protesis-de-pierna-para-deportistas-protesis-movilidad-y-deporte/>[5 de junio 2023]
- (78) Figura 28 - *Encajes*. (2020, 4 abril). *Ortosur*.
<https://www.ortosur.es/catalogo-de-productos/protesis/miembro-inferior/encajes-pierna/encaje/> [5 de junio 2023]

- (79) Figura 29- Redacción. (2021, 24 agosto). Magnetomicrometría, ¿la clave hacia un control óptimo de prótesis robóticas? *Noticias de la Ciencia y la Tecnología (Amazings® / NCYT®)*.
<https://noticiasdelaciencia.com/art/42483/magnetomicrometria-la-clave-hacia-un-control-optimo-de-protesis-roboticas> [5 de junio 2023]
- (80) Figura 30- S, S. (2023). Guía completa: SLA o impresión 3D por estereolitografía, ¡te explicamos todo! *3Dnatives*.
<https://www.3dnatives.com/es/impresion-3d-por-estereolitografia-les-explicamos-todo/> [5 de junio 2023]
- (81) Figura 31- Digital eye observatory. (2021, 11 noviembre). *¿Qué es la impresión 3D? - DIGITAL EYE OBSERVATORY*. DIGITAL EYE OBSERVATORY.
<https://www.digitaleye.uma.es/impresion-3d> [5 de junio 2023]
- (82) Figura 32- S, S. (2023a). Guía completa: Material Jetting o inyección de material, ¡te explicamos todo! *3Dnatives*.
<https://www.3dnatives.com/es/la-impresion-3d-polyjet23072015/> [5 de junio 2023]
- (83) Figura 33- C, L. (2023). Guía completa: Binder Jetting o inyección de aglutinante, ¡te lo contamos todo! *3Dnatives*.
<https://www.3dnatives.com/es/inyeccion-aglutinante-te-lo-contamos-23032016/> [5 de junio 2023]
- (84) Figura 34- <http://www.fabricacionaditiva.online/103.htm> [5 de junio 2023]
- (85) Figura 35 - C, L. (2023a). Guía completa: Deposición de energía directa, ¡te explicamos todo! *3Dnatives*.
<https://www.3dnatives.com/es/guia-deposicion-de-energia-directa-100920192/#!> [5 de junio 2023]

- (86) Figura 36 - ComprarImpresoras-3D.com! (s. f.). *Impresoras 3D de Fabricación mediante laminado de objetos (LOM) - ComprarImpresoras-3D.com!*
<https://comprarimpresoras-3d.com/tipo/lom/> [5 de junio 2023]
- (87) Figura 37- Unidad Editorial Internet, S.L. (2008, 14 noviembre). *El primer trasplantado de brazos de España recibe el alta en La Fe de Valencia | elmundo.es.*
<https://www.elmundo.es/elmundo/2008/11/14/valencia/1226657304.html> [5 de junio 2023]
- (88) Figura 38- Fablab Badajoz. (2022, 29 noviembre). *Impresora 3D Artillery Sidewinder X2 - Fablab Badajoz.*
<https://fablabbadajoz.com/maquina/impresora-3d-bq-witbox/> [5 de junio 2023]
- (89) Figura 39- Zwingmann, J. (2016). *Comminuted Fracture of Elbow - Osteosynthesis vs. Total Joint Replacement.*
<https://www.semanticscholar.org/paper/Comminuted-Fracture-of-Elbow-Osteosynthesis-vs.-Zwingmann-Neumann/ea5f67e88bf3d16d4c63c24cd7ee80120c37ac74/figure/1> [5 de junio 2023]
- (90) Figura 40 - Enanddes. (2023, 27 mayo). *Impresora 3D Artillery Sidewinder X2 | ENANDES.*
<https://enanddes.es/producto/impresora-3d-artillery-sidewinder-x2-300x300x400mm/>
 [5 de junio 2023]
- (91) Figura 41- Abax3d. (2022b). *Extrusor impresora 3D: componentes, tipos y limpieza. Abax Innovation Technologies.*
<https://abax3dtech.com/2021/01/08/extrusor-impresora-3d-componentes-tipos-y-limpieza/> [5 de junio 2023]
- (92) Figura 42- Llamas, L. (2020). *Cómo funciona la cinemática de una impresora 3D FFF. Luis Llamas.*
<https://www.luisllamas.es/como-funciona-la-cinemática-de-una-impresora-3d-fff/> [5 de junio 2023]

- (93) Figura 43- TintasyTonerCompatibles.es. (2021a, septiembre 10). *partes-de-una-impresora-3d-Varillas - BLOG | TintasyTonerCompatibles. es. BLOG | TintasyTonerCompatibles. es.* <https://www.tintasytonercompatibles.es/blog/partes-de-la-impresora-3d/partes-de-una-impresora-3d-varillas/> [5 de junio 2023]
- (94) Figura 44- Djoin. (2023). ¿Cómo ajusto la correa de mi impresora 3d? *3Djoin SpA.* <https://www.3djoin.cl/como-ajusto-la-correa-de-mi-impresora-3d/> [5 de junio 2023]
- (95) Figura 45 - TintasyTonerCompatibles.es. (2021a, septiembre 10). *husillo - BLOG | TintasyTonerCompatibles. es. BLOG | TintasyTonerCompatibles. es.* <https://www.tintasytonercompatibles.es/blog/partes-de-la-impresora-3d/husillo/> [5 de junio 2023]
- (96) Figura 46- *Fuente de alimentación 24V 15A 360W Impresora 3D | Leantec.ES.* (2023, 22 marzo). Leantec.ES. <https://leantec.es/tienda/fuente-de-alimentacion-24v-15a-360w-impresora-3d/> [5 de junio 2023]
- (97) Figura 47 - Noa. (s. f.). *Placa Base CR-20 Pro.* 3DJake España. <https://www.3djake.es/creality-impresoras-3d-y-piezas-de-recambios/placa-base> [5 de junio 2023]
- (98) Figura 48- Noa. (s. f.-b). *Cama Caliente con Placa de Construcción Hornet.* 3DJake España. <https://www.3djake.es/artillery/cama-caliente-con-placa-de-construccion> [5 de junio 2023]
- (99) Figura 49- M, A. (2020b). OctoPrint, la aplicación para controlar tu impresora 3D. *3Dnatives.* <https://www.3dnatives.com/es/octoprint-aplicacion-control-impresora-210820202/> [5 de junio 2023]

- (100) Figura 50- *Sensor Autonivelado Artillery*. (s. f.). MakerEx.
<https://makerex.es/es/electronica/1312-sensor-autonivelado-artillery.html> [5 de junio 2023]
- (101) Figura 60 -*Amazon.es*. (s. f.-b).
<https://www.amazon.es/Loctite-profesional-adhesivo-universal-instant%C3%A1neo/dp/B00CWZR2N4> [5 de junio 2023]
- (102) Figura 61-
<https://www.juntasindustriales.com/wp-content/uploads/Ficha%20tecnica%20del%20Polietileno%20PE.pdf> [5 de junio 2023]
- (103) Figura 62- *Desarrollo Sostenible*. (2017). La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. *Desarrollo Sostenible*.
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/> [5 de junio 2023]