COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA
ICAI

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

PROCESO DE RÉPLICA EN PLÁSTICO RECICLADO DE LAS ARTICULACIONES DE LA MANO PARA UNA PRÓTESIS LOW-COST

Autor: Álvaro Valdés Gómez

Director: María Ana Sáenz Nuño

Madrid

Junio de 2021

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título

PROCESO DE RÉPLICA EN PLÁSTICO RECICLADO DE LAS ARTICULACIONES DE LA MANO PARA UNA PRÓTESIS LOW-COST

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico 2020/2021 es de mi autoría, original e inédito y no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Álvaro Valdés Gómez Fecha: 25/05/2021

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: María Ana Sáenz Nuño Fecha: 25/05/2021

COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA
ICAI

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

PROCESO DE RÉPLICA EN PLÁSTICO RECICLADO DE LAS ARTICULACIONES DE LA MANO PARA UNA PRÓTESIS LOW-COST

Autor: Álvaro Valdés Gómez

Director: María Ana Sáenz Nuño

Madrid

Junio de 2021

PROCESO DE RÉPLICA EN PLÁSTICO RECICLADO DE LAS ARTICULACIONES DE LA MANO PARA UNA PRÓTESIS LOW-COST

Autor: Valdés Gómez, Álvaro.

Director: Sáenz Nuño, María Ana.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

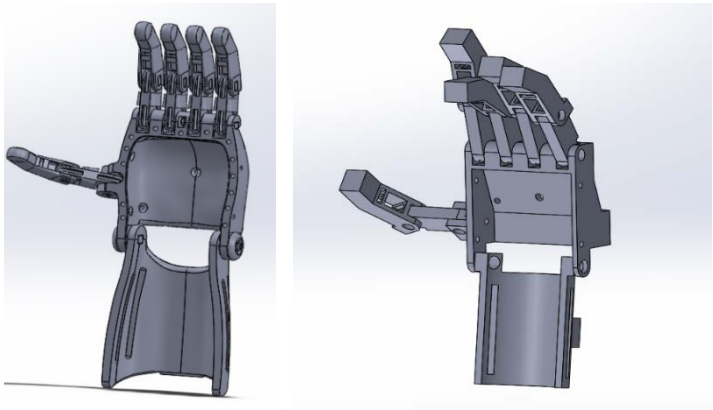
RESUMEN DEL PROYECTO

El campo de las prótesis ha avanzado mucho en las últimas décadas. Cada vez se disponen de modelos más baratos, y la llegada de las impresoras 3D ha supuesto una revolución en el diseño y obtención de prótesis low-cost. Sin embargo, no todo el mundo tiene acceso a este tipo de tecnología, en especial en aquellas zonas con falta de recursos.

Como alternativa a las tecnologías actuales, en este proyecto se ha diseñado una prótesis de mano y un método para fabricarla a partir de latas, tapones de plástico, cuerdas y gomas. Además, se han utilizado únicamente herramientas muy rudimentarias para que cualquier persona sea capaz de fabricarla. Esta prótesis está pensada para poder ser construida especialmente en países subdesarrollados o en campos de refugiados donde los recursos son escasos.

De cara a la elaboración del primer diseño, se inicia el proyecto con el estudio de las articulaciones de la mano, así como con la investigación de las prótesis que actualmente están disponibles en el mercado. De este modo se determinan los movimientos básicos que son imprescindibles reproducir, para obtener la máxima funcionalidad posible, cotejándolo con diseños que ya han sido probados y han demostrado su eficacia en la vida cotidiana de personas con este tipo de discapacidades.

Los diseños han sido efectuados utilizando SolidWorks y tratando de conseguir geometrías mucho más simplificadas respecto a las prótesis 3D actuales. Dado que en el proceso de fabricación se pretende eliminar la necesidad de utilizar herramientas, la precisión que se obtendrá será muy limitada por lo que se ha realizado un diseño simple pero efectivo y funcional.



Diseños de prótesis en SolidWorks

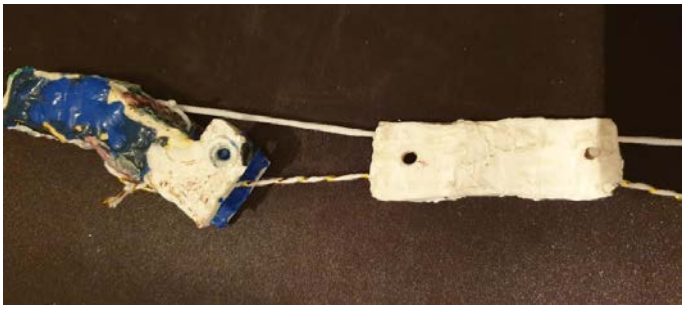
La materia prima empleada para la elaboración de los moldes ha sido latas de aluminio de refresco. Siguiendo con las líneas simplistas que marcan la totalidad del proyecto, los moldes se han desarrollado de tal manera que puedan obtenerse mediante una sola lámina de aluminio, indicando cómo debe de ser doblada (empleando una técnica similar al origami) para llegar a la geometría deseada sin requerir de uniones ni operaciones complejas.

Proceso de fabricación de pieza

Una vez obtenidos los moldes se procede a rellenarlos con trozos de tapones de polietileno de alta densidad previamente cortados. El plástico se funde en el horno en sucesivas capas que deben ser prensadas para obtener una pieza compacta y homogénea. Algunas partes de la prótesis no se obtienen directamente de un solo molde, sino que deben unirse varias piezas para formarlas. El método de unión no requiere de herramientas y está pensado para poder efectuarse presionando las piezas sólidas sobre otras que estén calentadas en el horno.

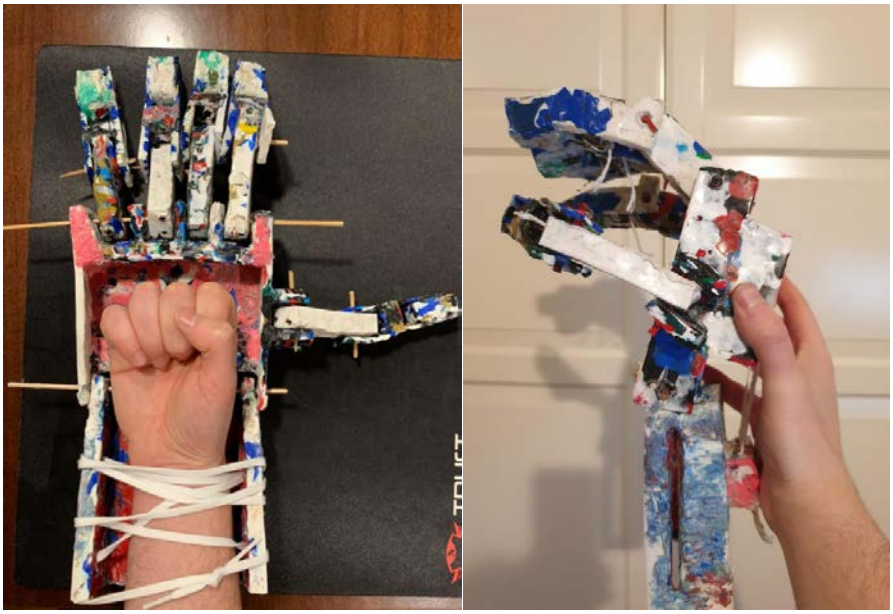
Fundición de plástico en el horno y pieza acabada

La unión de la prótesis se efectúa utilizando cuerdas elásticas y rígidas. Las cuerdas rígidas están atadas a los dedos para que al tirar de ellas se muevan a una posición de flexión y así poder agarrar objetos.



Unión de piezas mediante cuerdas

Las cuerdas elásticas se encargan de devolver los dedos a la posición estirada y de mantenerlos en esta posición mientras no se efectúe ningún movimiento con la muñeca. La prótesis dispone de ranuras y agujeros por los que poder atravesar cuerdas para anclar correctamente el brazo del usuario.



Sujeción de la prótesis a la mano y movimiento de flexión de los dedos

REPLICATION PROCESS OF THE JOINTS OF A HUMAN HAND FOR THE DEVELOPMENT OF A LOW-COST PROSTHESIS USING RECYCLED PLASTIC

Author: Valdés Gómez, Álvaro.

Director: Sáenz Nuño, María Ana.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

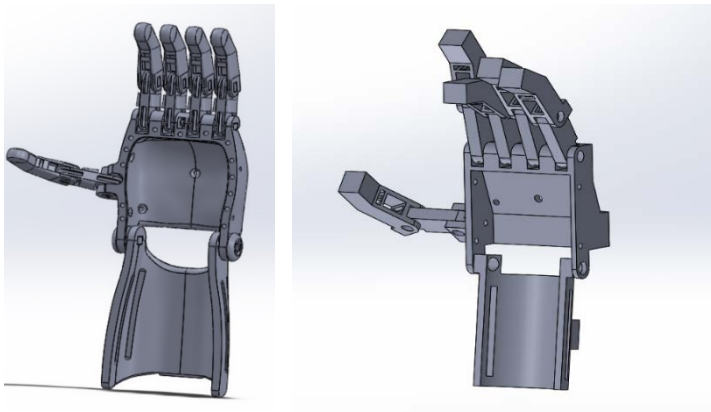
PROJECT SUMMARY

The development of prosthesis over the last decades has been notorious. The uncomfortable, heavy and inefficient initial designs have led to more functional and optimised models, and the introduction of 3D printers has enabled to obtain working prototypes reducing costs significantly. Unfortunately, socioeconomic distinctions worldwide make it difficult for this technology to be available and a real possibility in some regions, especially in those lacking the most basic resources.

As a means of providing an alternative to these revolutionary new technologies, this project looks to design and manufacture a hand prosthesis using basic and accessible materials, particularly aluminium cans, plastic bottle caps, ropes and elastic bands. In addition, the fabrication and assembly processes have been conceived so that only rudimentary tools are required, making the fabrication of the prosthetic device available worldwide, specifically in refugee camps where resources are scarce.

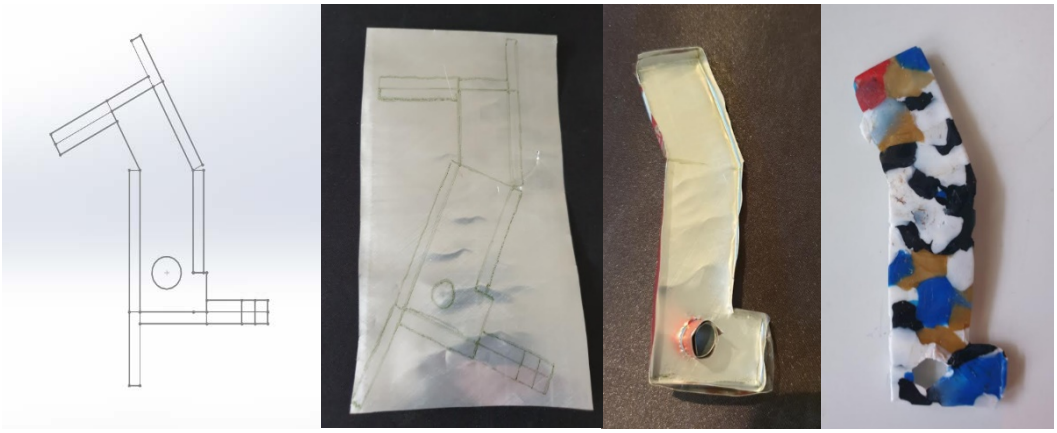
The initial steps taken in the development of the model were the study of both the existing prosthesis available on the market and the functioning of the articulations of the human hand. In doing so, the essential movements that had to be provided by the prototype were determined, as well as the specific characteristics of existing designs that had already been trialled and accepted by patients suffering from this disability.

The design of the prototype was developed using SolidWorks, working on much more simplistic geometries than those of existing prosthesis produced using 3D printing. As a means of guaranteeing that its manufacturing would be possible using basic technologies and tools, the implemented design has limited precision, but it is both effective and functional.



Prostheses designs in SolidWorks

The raw materials used to produce the moulds were aluminium soda cans. Following with the previously discussed idea of conceiving the manufacturing process very elementary, the moulds have been devised so that stencils could be obtained from single aluminium sheets that were to be folded (using a similar technique to that of origami) in order to obtain the final geometry without having to implement unions or complex subsequent operations.

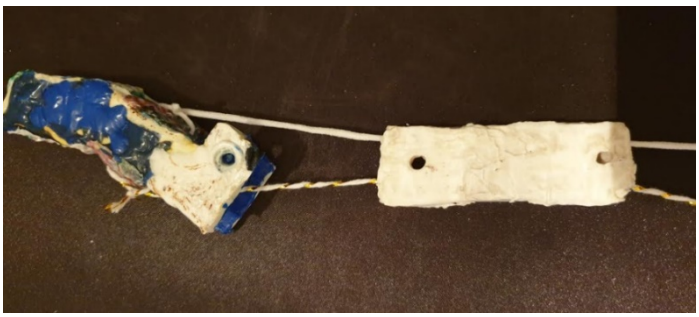


Manufacturing process of a part

After having produced the moulds, they were filled with segments of High-Density Polyethylene (HDPE) bottle caps that had been previously cut into pieces, and then introduced in an electric oven in order to melt the plastic. The technique used in doing so was to add successive layers of plastic segments that were pressed to obtain compact and uniform parts. Some of the parts conforming the model required the union of two or more constituents, however the junctions were produced without using any tools, and merely pressing solid components against heated ones in plastic conditions.

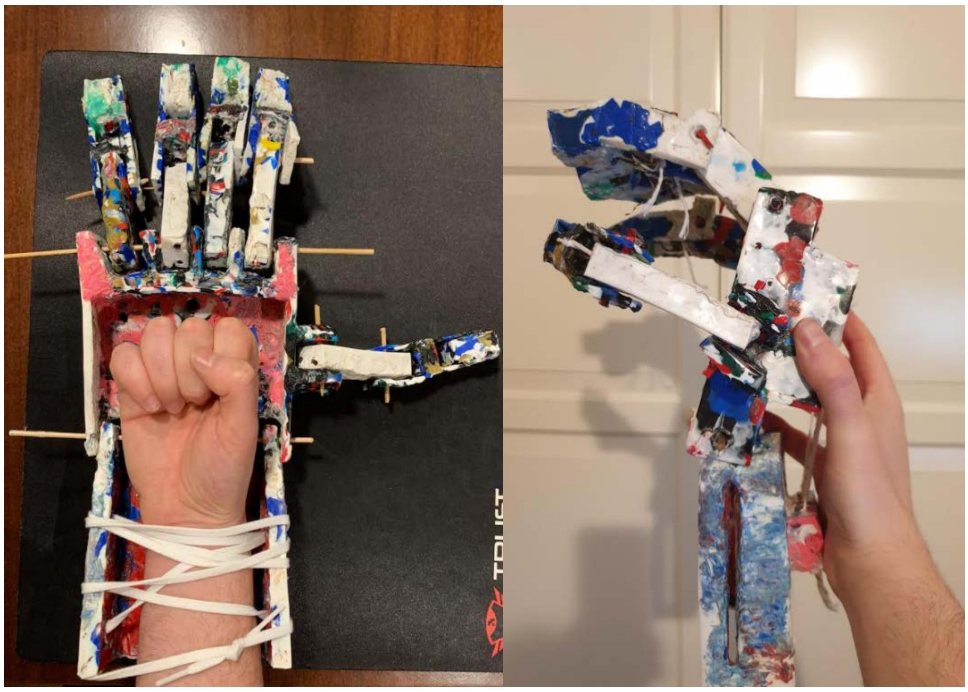
Casting in furnace and finished part

The final assembly of the model was produced mechanically using elastic bands and rigid strings, being the latter tied to the parts of the prosthesis that imitate the human fingers. By pulling from the strings, the fingers flex and are able to grasp objects.



Joining parts with ropes

The purpose of the elastic bands is to reinstate the fingers' initial stretched position, and to withhold them in this position as long as the wrist doesn't make any movement. The prosthesis has slots and holes through which ropes can be traversed to properly anchor the user's arm.



Attachment of the prosthesis to the hand and bending movement of the fingers

Contenido

Índice de figuras 3
Planificación y Diagrama de Gantt 7
1. Introducción y planteamiento del proyecto 8
2. Estado del arte 9
2.1 Tipos de prótesis de mano [1] 9
2.2 Prótesis fabricadas con impresoras 3D [7] 11
2.3 Anatomía osteoarticular de la mano [9] [10] 12
2.4 Movimientos de la mano [11] 13
2.5 Movimientos de la muñeca [12] 14
2.6 Software de diseño 15
SolidWorks [15] [16] [17] 15
2.7 Plásticos [13] 16
PET (tereftalato de polietileno) 16
HDPE o PEAD (polietileno de alta densidad) 16
PVC (policloruro de vinilo) 16
LDPE o PEBD (polietileno de baja densidad) 17
PP (polipropileno) 17
PS (poliestireno) 17
Otros plásticos 17
2.8 Tapones y sus propiedades al ser derretido [18] 17
2.9 Latas de aluminio [14] 17
3. Motivación 18
4. Objetivos del proyecto 18
5. Alineación con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) 19
6. Metodología de trabajo 19
7. Recursos a emplear 19
8. Primer diseño de la prótesis 20
9. Molde de la mitad del dedo 29
10. Segundo diseño de la prótesis 37
11. Punta del dedo 38

12. Rediseño de la mano 49
13. Mano 50
14. Brazo 60
15. Mitad del dedo rediseñada 67
16. Unión punta del dedo 70
17. Unión mano 72
18. Unión brazo 75
19. Montaje de la mano 77
20. Resultados 86
21. Conclusiones y análisis de los resultados 86
22. Líneas futuras 88
23. Estudio económico 89
Bibliografía 91
Anexo: Guía de fabricación y montaje 92
Fabricación de las piezas de la prótesis 93
Anexo: Planos 106

Índice de figuras

Fig. 1 Movimiento de prótesis mecánica [2] 9
Fig. 2 Prótesis mecánica [3] 9
Fig. 3 Prótesis neumática [4] 10
Fig. 4 Prótesis eléctrica [5] 10
Fig. 5 Prótesis mioeléctrica [6] 11
Fig. 6 Prótesis personalizada para niños [8] 12
Fig. 7 Huesos de la mano [9] 12
Fig. 8 Huesos y articulaciones de la mano [11] 13
Fig. 9 Abducción y aducción de la mano [11] 13
Fig. 10 Flexión y extensión de la mano [11] 14
Fig. 11 Oposición y reposición de la mano [11] 14
Fig. 12 Huesos de la muñeca y brazo [12] 14
Fig. 13 Abducción y aducción de la mano [12] 15
Fig. 14 Extensión y flexión de la mano [12] 15
Fig. 15 Objetivos de desarrollo sostenible del proyecto [19] 19
Fig. 16 Diseño base de la prótesis en SolidWorks 20
Fig. 17 Primer diseño simplificado de la prótesis 20
Fig. 18 Diseño punta del dedo 21
Fig. 19 Diseño mitad del dedo 21
Fig. 20 Diseño palma de la mano 22
Fig. 21 Diseño brazo 22
Fig. 22 Diseño mitad del dedo en SolidWorks 29
Fig. 23 Prueba de molde en cartón 30
Fig. 24 Prueba de base de molde en aluminio 30
Fig. 25 Prueba de molde acabado 30
Fig. 26 Diseño simplificado en SolidWorks 30
Fig. 27 Prototipo de molde en cartulina 32
Fig. 28 Prueba con plástico derretido 35
Fig. 29 Molde relleno de trozos de tapones de plástico 35

Fig. 30 Plástico fundiéndose en el horno 36
Fig. 31 Pieza de la mitad del dedo acabada 37
Fig. 32 Segundo diseño de la prótesis 38
Fig. 33 Diseño 2D del molde 39
Fig. 34 Prototipo den cartón del molde 39
Fig. 35 Molde acabado 40
Fig. 36 Plástico fundiéndose en el molde 40
Fig. 37 Pieza del lateral de la punta del dedo acabada 41
Fig. 38 Diseño 2D del molde en SolidWorks 42
Fig. 39 Prototipo de molde en cartón 43
Fig. 40 Elaboración del molde con trozo de lata 43
Fig. 41 Pieza fundiéndose en el horno 44
Fig. 42 Pieza acabada 44
Fig. 43 Diseño del molde en 2D 45
Fig. 44 Prototipo de molde en cartón 45
Fig. 45 Fabricación del molde a partir de lata 46
Fig. 46 Diseño 2D en SolidWorks 46
Fig. 47 Prototipo de molde en cartón 47
Fig. 48 Fabricación de molde con lata 47
Fig. 49 Pieza de la punta del dedo acabada 48
Fig. 50 Unión punta del dedo y mitad del dedo 48
Fig. 51 Rediseño de la mano en SolidWorks 49
Fig. 52 Diseño 2D en SolidWorks 50
Fig. 53 Fabricación del molde con lata 50
Fig. 54 Piezas laterales de la mano terminadas 51
Fig. 55 Diseño 2D en SolidWorks 51
Fig. 56 Molde acabado en aluminio 52
Fig. 57 Pieza del nudillo acabada 52
Fig. 58 Diseño 2D en SolidWorks 52
Fig. 59 Diseño 2D en SolidWorks 53
Fig. 60 Fabricación del molde con lata 53
Fig. 61 Pieza de la base de los nudillos acabada 54

Fig. 62 Diseño 2D en SolidWorks 55
Fig. 63 Fabricación del molde con trozo de lata 56
Fig. 64 Molde terminado 57
Fig. 65 Pieza palma de la mano acabada 58
Fig. 66 Diseño 2D en SolidWorks 58
Fig. 67 Fabricación del molde y pieza acabada 59
Fig. 68 Diseño 2D en SolidWorks 60
Fig. 69 Unión de láminas de aluminio 60
Fig. 70 Moldes acabados en el horno 61
Fig. 71 Pieza trasera del brazo acabada 61
Fig. 72 Diseño 2D en SolidWorks 62
Fig. 73 Dibujo del molde sobre lámina de lata 62
Fig. 74 Moldes con tapones enteros fundiéndose en el horno 63
Fig. 75 Piezas laterales del brazo acabadas 63
Fig. 76 Diseño 2D en SolidWorks 64
Fig. 77 Molde del anclaje de cuerdas al brazo acabad 65
Fig. 78 Elaboración de la pieza en el horno 66
Fig. 79 Pieza del anclaje de cuerdas al brazo acabada 66
Fig. 80 Diseño 2D en SolidWorks 67
Fig. 81 Molde con pieza acabada en su interior 67
Fig. 82 Rediseño 2D en SolidWorks 68
Fig. 83 Diseño 2D sobre papel y lata 68
Fig. 84 Molde de la mitad del dedo acabado 69
Fig. 85 Pieza de la mitad del dedo acabada 70
Fig. 86 Unión de la punta del dedo a lateral del dedo 71
Fig. 87 Unión de la mitad de la punta del dedo al lateral del dedo 71
Fig. 88 Pieza de la punta del dedo acabada 72
Fig. 89 Proceso de unión de los nudillos a la base de los nudillos 73
Fig. 90 Unión de las piezas de la mano 74
Fig. 91 Pieza de la mano acabada 74
Fig. 92 Pieza del brazo acabada 75
Fig. 93 Pieza del brazo con ranuras para la sujeción del brazo con cuerdas 76

Fig. 94 Inserción de las cuerdas a través de la mitad del dedo 77
Fig. 95 Unión con cuerdas de la mitad del dedo y la punta del dedo 78
Fig. 96 Inserción de cuerdas por el agujero central de la palma de la mano..... 79
Fig. 97Inserción de cuerdas hasta el anclaje del brazo 80
Fig. 98 Tensado de cuerdas rígidas en el anclaje del brazo..... 81
Fig. 99 Unión cuerdas elásticas y dedo gordo 82
Fig. 100 Inserción de articulaciones con cilindros de latas 83
Fig. 101 Movimiento de flexión y extensión de la prótesis 84
Fig. 102 Sujeción de la prótesis al brazo y reverso de la prótesis 85
Fig. 103 Movimiento de la prótesis con la muñeca 85

Planificación y Diagrama de Gantt

Task Name	Duration	Start	Finish	Predecessors
OBJETIVOS DEL PROYECTO	2 days	16/11/2020	17/11/2020	
ESTADO DEL ARTE	10 days	18/11/2020	01/12/2020	1
DISEÑO PRÓTESIS SOLIDWORKS	15 days	02/12/2020	22/12/2020	2;1
MITAD DEL DEDO	7 days	23/12/2020	31/12/2020	3
PUNTA DEL DEDO	7 days	01/01/2021	11/01/2021	4
PALMA DE LA MANO	15 days	12/01/2021	01/02/2021	5
BRAZO	15 days	02/02/2021	22/02/2021	6
UNIÓN PIEZAS	7 days	23/02/2021	03/03/2021	7
MONTAJE PRÓTESIS	1 day	04/03/2021	04/03/2021	8
PLANOS Y ANEXOS	7 days	05/03/2021	15/03/2021	9
RESULTADOS Y CONCLUSIONES	3 days	16/03/2021	18/03/2021	10
MEMORIA	30 days	04/03/2021	14/04/2021	8

1. Introducción y planteamiento del proyecto

Actualmente se ha extendido mucho el uso y la disponibilidad de impresoras 3D que permiten fabricar casi cualquier diseño a un coste muy reducido. Existen numerosos diseños de prótesis de mano que se pueden descargar gratuitamente e imprimir por muy poco dinero. Esto es de gran ayuda para las personas con problemas económicos. Además, los diseños 3D se pueden manipular fácilmente para adaptarlos perfectamente a los distintos tamaños de mano. Sin embargo, y pese a que esta tecnología está introduciéndose poco a poco para hacerse cada vez más accesible, el coste de la misma hace imposible que determinados territorios puedan disponer de ella.

Como alternativa a las tecnologías actuales, en este proyecto se diseñará una prótesis de mano y un método para fabricarla a partir de latas, tapones de plástico, cuerdas y gomas. Además, se utilizarán únicamente herramientas muy rudimentarias para que cualquier persona sea capaz de fabricarla. Esta prótesis está pensada para poder ser construida especialmente en países subdesarrollados o en campos de refugiados donde los recursos son escasos.

El primer aspecto determinante de este proyecto es la elección de los materiales para su desarrollo. Inicialmente, se trató de elegir materiales a los que se tuviera fácil acceso independientemente de la geografía y del territorio, permitiendo así la implantación de las prótesis a escala mundial, algo determinante en la sociedad globalizada que rige el planeta. En segundo lugar, y a colación con lo previamente expuesto se ha buscado incorporar el reciclaje de materiales contaminantes para reducir el impacto nocivo que la humanidad está teniendo en los recursos naturales. Se producen a nivel mundial más de 400 millones de toneladas de plástico al año de las cuales sólo se recicla aproximadamente un 19%, motivo por el cual este proyecto hará uso de estos residuos contaminantes con el fin de darles una segunda vida. Además, el coste de este tipo de material dada su procedencia y uso inicial (fundamentalmente tapones de botellas y envases) hacen de esta prótesis un objeto al alcance de cualquier persona, independientemente de su estrato social y de sus recursos económicos. Pese a las ventajas ya descritas de este material y dada la naturaleza de la ortopedia a desarrollar, son determinantes sus propiedades mecánicas, las cuales ya han sido investigadas en proyectos previos, llegando a la conclusión de que son viables e incluso superan en resistencia y durabilidad a las prótesis impresas en 3D.

El segundo factor que ha motivado la consecución de este proyecto es la mejora de la calidad de vida de personas que han perdido la mano. Esta parte del cuerpo humano es fundamental para desarrollar todo tipo de actividades elementales, y carecer de la misma no sólo supone enfrentarse con gran dificultad a tareas cotidianas, sino que además puede suponer problemas psicológicos y de autoestima en aquellos que hayan podido perderla. En los países desarrollados se cuenta con la tecnología y los medios sanitarios para acceder a prótesis que permiten paliar las consecuencias de haber perdido esta extremidad, pero en los campos de refugiados y países subdesarrollados esto no es posible. Con este proyecto se mitigan las desigualdades sociales existentes, y no sólo se mejora la salud física de los pacientes, sino que se regenera drásticamente su salud mental.

Siguiendo con la línea argumental expuesta al describir el porqué de la elección del plástico como el material para elaborar la prótesis, se ha elegido el aluminio procedente de las latas de refrescos para elaborar los moldes de las piezas. La maleabilidad de este material permite manipularlo fácilmente y sin necesidad de disponer de herramientas mecánicas sofisticadas a la hora de efectuar los moldes y posee una gran durabilidad lo cual permite reutilizar los moldes para efectuar numerosas piezas. Además, puesto que la formación de los moldes se lleva a cabo utilizando geometrías muy sencillas, fundamentalmente tetraédricas, la capacidad de personalización y adaptación de los mismos a distintos tamaños supone que el paciente objetivo que puede beneficiarse de la prótesis no se ve condicionado por el género o la edad. En niños, los beneficios psicológicos tienen por tanto mayor influencia.

2. Estado del arte

2.1 Tipos de prótesis de mano [1]

Existen numerosos tipos de prótesis de mano las cuales se clasifican principalmente por el tipo de mecanismo que gobierna su movimiento. En primer lugar, existen las prótesis mecánicas que son aquellas que se mueven gracias al uso de cuerdas y gomas. Estas prótesis van atadas al brazo y mediante el movimiento de muñeca permiten tensar y destensar las cuerdas que hacen que los dedos se muevan. Con ellas se pueden agarrar distintos objetos, normalmente de gran tamaño, debido a que no son las más precisas.

Fig. 2 Prótesis mecánica [3]

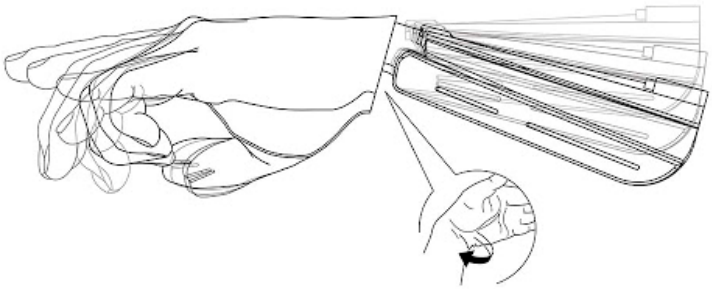


Fig. 1 Movimiento de prótesis mecánica [2]

Las prótesis neumáticas utilizan aire comprimido para el movimiento de los dedos y la mano. Su principal ventaja es que son capaces de generar más fuerza y de una forma muy rápida. El inconveniente que tienen es que suelen ser costosas y requerir mucho mantenimiento.

Fig. 3 Prótesis neumática [4]

Las prótesis eléctricas utilizan componentes electrónicos como servomotores los cuales son activados mediante pulsadores para mover la prótesis. Al igual que con las prótesis neumáticas la desventaja es su gran coste y mantenimiento. Además, pueden estropearse y funcionar inadecuadamente en condiciones de alta humedad.

Fig. 4 Prótesis eléctrica [5]

Finalmente encontramos las prótesis mioeléctricas. Estas prótesis combinan el movimiento corporal con el envío de señales eléctricas para ejecutar movimientos.

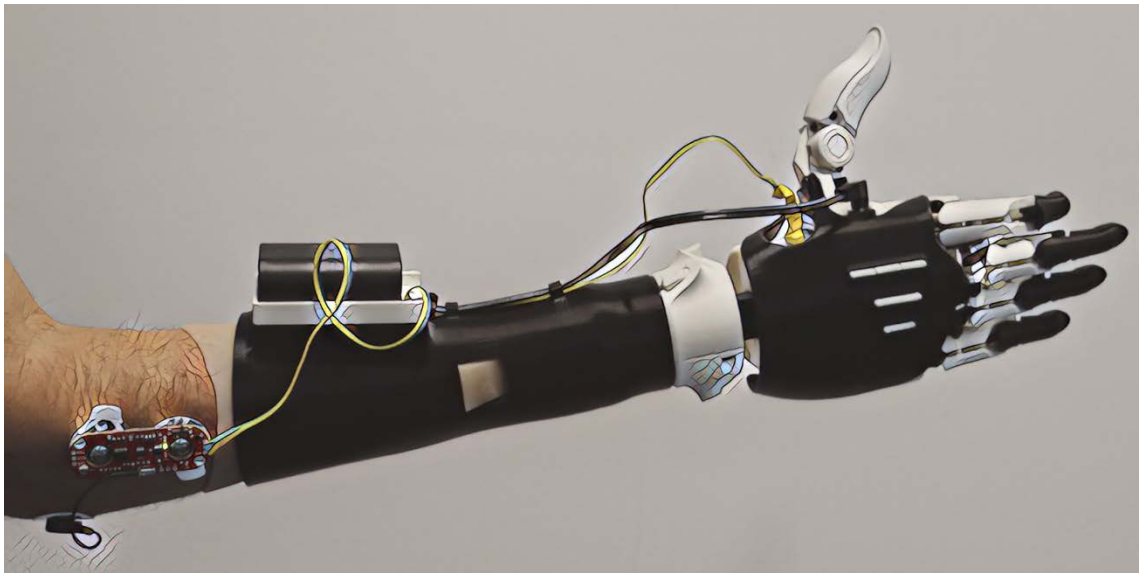


Fig. 5 Prótesis mioeléctrica [6]

2.2 Prótesis fabricadas con impresoras 3D [7]

Las prótesis 3D son diseñadas con software CAD y posteriormente impresas utilizando normalmente filamentos de plástico. Este sistema permite que las prótesis sean asequibles para casi cualquier persona. Además, al estar diseñadas en CAD, se pueden modificar sus proporciones para adaptarlas a distintos individuos según sus necesidades personales de una forma rápida.

Estas prótesis tienen un coste muy reducido. Por ejemplo, una prótesis completa de un brazo gastaría aproximadamente 2 kilos de material de filamento. Estos filamentos tienen un coste de unos 25 euros el kilo. Esto significa que se podría adquirir una prótesis totalmente funcional por unos 50 euros. Años atrás esto era impensable ya que las prótesis podían costar cientos e incluso miles de euros.

En cuanto a la velocidad de fabricación, se puede tener una prótesis en casi un día. La impresión puede tardar aproximadamente 20h y más tarde su ensamblaje es de unas 5 horas.

El material utilizado para la impresión de las prótesis es bastante resistente. Además, aguanta condiciones de altas temperaturas y apenas se degrada ni deforma lo cual es muy conveniente si además añadimos su bajo coste. Cabe mencionar que las prótesis que deben aguantar mucho peso como las de las piernas suelen utilizar refuerzos a parte para asegurar su integridad.

Finalmente, una de sus grandes ventajas es su alto grado de personalización. Se pueden añadir fácilmente al diseño imágenes y logos e incluso modificar la geometría para hacerla más atractiva. Esto es de gran utilidad especialmente para los niños los cuales pueden sentir más afinidad hacia su prótesis, así como más diversión.

Fig. 6 Prótesis personalizada para niños [8]

2.3 Anatomía osteoarticular de la mano [9] [10]

La mano está compuesta por 27 huesos: la muñeca (carpo) tiene 8, la palma (metacarpo) tiene 5 y los dedos (compuestos de falanges), tienen 14. La muñeca es una articulación compuesta que interactúa entre sus 8 huesos y también con el radio y el cúbito (huesos del brazo) para conseguir una gran capacidad de movimiento.

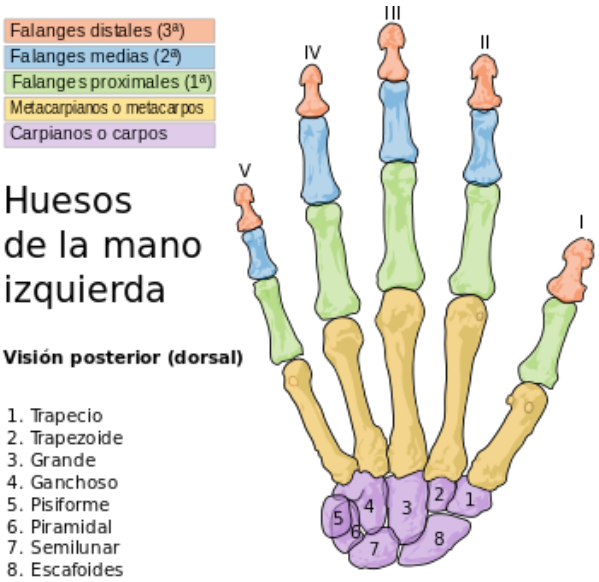


Fig. 7 Huesos de la mano [9]

Las fosas semilunar y escafoides son las que se articulan fundamentalmente con el radio, representando la parte más significativa del movimiento de la muñeca con el brazo, mientras que los huesos trapecio, trapezoide, grande y ganchoso constituyen los nexos de unión entre los carpos y los metacarpos. De menos interés de cara al movimiento de las articulaciones de la mano es el hueso piramidal, que apenas presenta uniones con otros huesos.

En cuanto a los metacarpos, constituyen una parte fundamental de los movimientos de los dedos. Cabe destacar que los grados de movimiento de los mismos aumenta coherentemente con el número de articulación: la segunda articulación apenas permite dos grados de movimiento, la tercera tres grados y la cuarta y la quinta admiten diez y quince grados respectivamente. Sólo escapa esta tendencia creciente la primera articulación pues presenta una capacidad de movimiento en cuatro planos y en amplios grados. Asimismo, esta articulación tiene una configuración "en silla de montar", que le otorga gran estabilidad.

Las diferencias entre las articulaciones metacarpianas I y II-V se presentan también en las falanges que exhiben articulaciones de tipo condileo y diartrósica (gran capacidad de flexión y extensión). La articulación diartrósica también aparece en las articulaciones interfalángicas, por lo que flectan ampliamente.

2.4 Movimientos de la mano [11]

La mano es capaz de efectuar varios movimientos los cuales son: flexión, extensión, abducción, aducción, oposición y reposición.

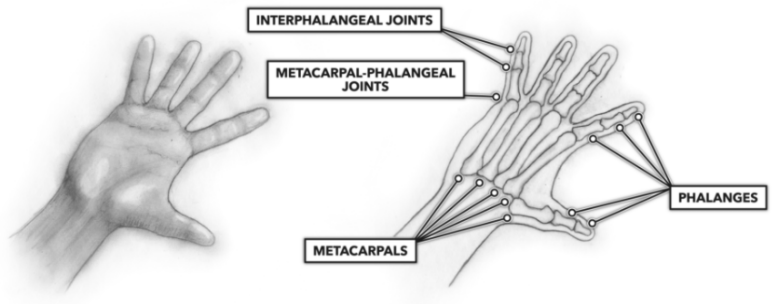


Fig. 8 Huesos y articulaciones de la mano [11]

La abducción consiste en la apertura o separación de los dedos y la aducción es el movimiento opuesto; cerrar o juntar los dedos.

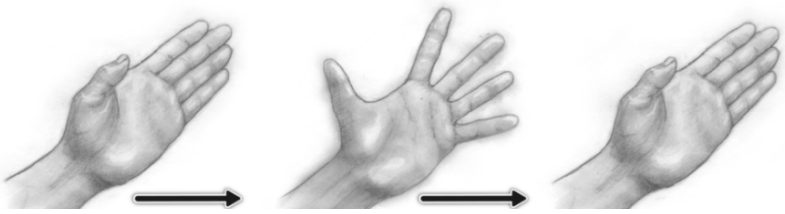


Fig. 9 Abducción y aducción de la mano [11]

La flexión permite doblar los dedos alrededor de la articulación de los nudillos o alrededor de las articulaciones de cada una de las falanges.

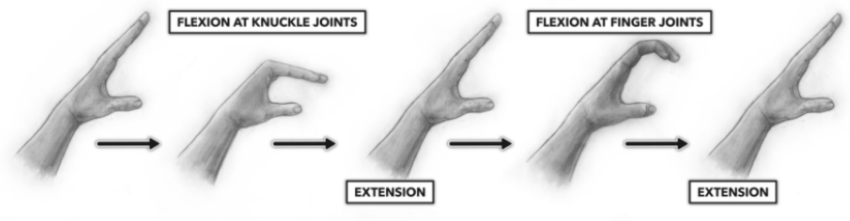


Fig. 10 Flexión y extensión de la mano [11]

Finalmente, la oposición consiste en juntar cada uno de los dedos con el pulgar y la reposición consiste en llevar los dedos y el pulgar a su posición de partida.

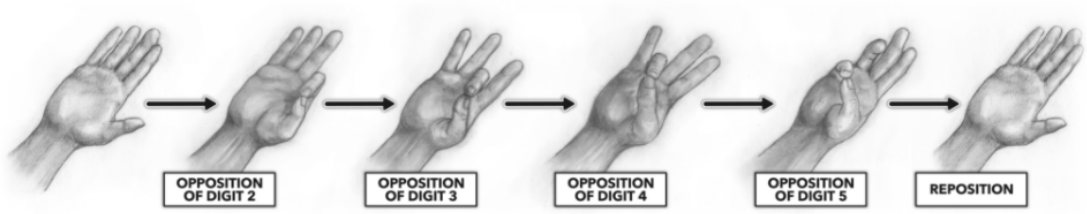


Fig. 11 Oposición y reposición de la mano [11]

2.5 Movimientos de la muñeca [12]

La muñeca es una articulación compuesta que puede interactuar con los huesos del radio y el cúbito para conseguir movimiento.

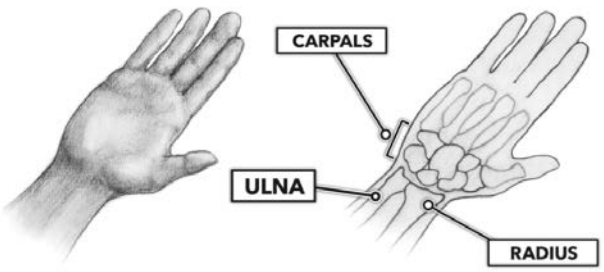


Fig. 12 Huesos de la muñeca y brazo [12]

La aducción consiste en la rotación de la mano completa hacia el dedo meñique y la abducción es el movimiento opuesto hacia el dedo gordo.

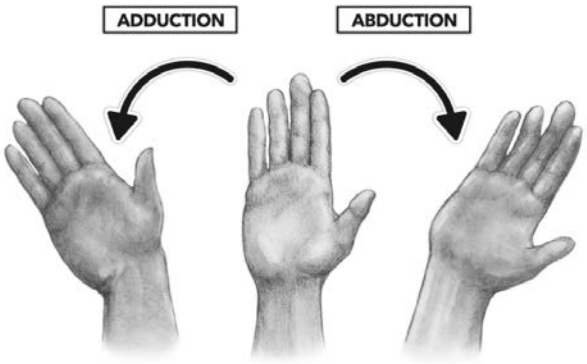


Fig. 13 Abducción y aducción de la mano [12]

La flexión consiste en doblar la mano hacia abajo juntándola al antebrazo y la extensión es el movimiento opuesto, rotando la mano hacia arriba.

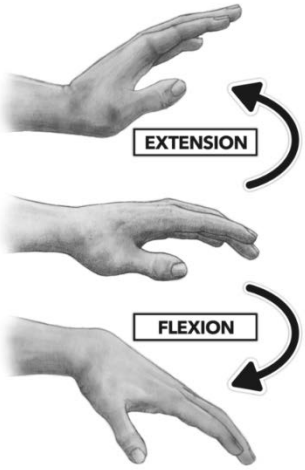


Fig. 14 Extensión y flexión de la mano [12]

2.6 Software de diseño

Actualmente, antes de comenzar el proceso de fabricación de un elemento, su diseño es realizado normalmente por un programa CAD. Estos softwares nos proporcionan una herramienta de gran potencia y utilidad para el diseño de piezas y conjuntos, así como su posterior simulación para comprobar su funcionamiento y conseguir optimizaciones en los productos. Algunos de los programas más utilizados actualmente son CATIA, SolidWorks, SolidEdge, AutoCAD, ANSYS y Creo Parametric. Para este proyecto se utilizará SolidWorks debido a su facilidad para crear diseños con rapidez y a su capacidad para realizar simulaciones en distintos ámbitos, así como planos.

SolidWorks [15] [16] [17]

SolidWorks es una herramienta de diseño asistido por ordenador capaz de crear piezas y conjuntos tridimensionales, así como planos. La herramienta está pensada para facilitar todo el

proceso de desarrollo de un producto. Las principales herramientas que proporciona el programa son las siguientes:

- Herramientas de diseño de piezas y conjuntos.
- Herramientas de diseño para la fabricación mecánica.
- Herramientas para la simulación de los diseños y conjuntos para comprobar su correcto funcionamiento y conseguir su optimización.
- Herramientas para evaluar el impacto medioambiental de los diseños.
- Herramientas para gestionar los datos generados en el proyecto.

Además de las herramientas mencionadas, SolidWorks incluye numerosos módulos como el de electricidad o el de electrónica para poder incluir todos los componentes necesarios en el diseño y tenerlos en cuenta a la hora de mejorar el producto. Con este programa se consiguen reducir los costes y tiempos de fabricación y está caracterizado por su sencillez de uso.

2.7 Plásticos [13]

Los plásticos se dividen principalmente en 6 categorías y existe una más para plásticos con características particulares o no del todo conocidas. Cabe mencionar que actualmente sólo se recicla un 20% del plástico producido por lo que es de gran interés conseguir encontrar nuevas formas de reciclar este material para reducir la contaminación.

PET (tereftalato de polietileno)

Este plástico es muy transparente y es por eso que se suele utilizar en los envases de bebidas. Además, este plástico posee propiedades herméticas. Un envase de este material evita la entrada de oxígeno por lo que es muy útil para preservar alimentos. El PET se puede reciclar totalmente y tiene un bajo coste de fabricación. Más aún es un plástico ligero e impermeable y en su proceso de reciclado se puede conseguir un plástico igual que el original o incluso superior.

HDPE o PEAD (polietileno de alta densidad)

El polietileno de alta densidad posee algo de resistencia y dureza. Es un plástico muy común y de aspecto opaco que puede ser manipulado en distintos procesos lo cual le dota de gran versatilidad. Al igual que el PET puede encontrarse en envases de bebidas, pero también de productos de limpieza. Al ser bastante resistente, también tiene otros usos como muebles de jardín o contenedores de basura.

PVC (policloruro de vinilo)

Este plástico presenta muchas complicaciones para ser reciclado. Es por ello que contribuye mucho a la contaminación durante su proceso de fabricación y desechado. Sin embargo, el PVC posee una gran resistencia, durabilidad y es liviano. Estas características hacen que sea uno de los más utilizados. Se puede encontrar especialmente en tuberías o elementos constructivos como marcos de ventana. También se utiliza en envases o en productos farmacéuticos. Dado a que es muy contaminante se está tratando de encontrar alternativas menos dañinas para el medioambiente.

LDPE o PEBD (polietileno de baja densidad)

El polietileno de baja densidad es duro a la vez que elástico. Este plástico es transparente y se fabrica principalmente utilizando gas natural. Se puede procesar de diferentes maneras por lo que posee gran versatilidad y además su fabricación es muy económica. Suele utilizarse normalmente en bolsas de plástico y para papel de film transparente.

PP (polipropileno)

El polipropileno es el plástico con menor densidad. Es por ello que posee una gran resistencia al calor y a los ciclos de fatiga. Sin embargo, no es flexible, pero tiene una gran rigidez y es posible reciclarlo. Suele utilizarse en tapas de envases, pajitas o ciertos utensilios de cocina. Después de ser reciclado se utiliza en productos como contenedores o bandejas.

PS (poliestireno)

El poliestireno tiene excelentes propiedades aislantes y resiste muy bien los impactos. Utilizando calor puede ablandarse para transformarlo. Suele utilizarse en recipientes para guardar comida o vasos que guardan el calor. También se utiliza en la construcción para productos que requieren aislantes.

Otros plásticos

En esta categoría se encuentran los plásticos que tienen componentes desconocidos o mezclados y por tanto es difícil conocer con precisión sus propiedades. Dentro de esta categoría se encuentran por ejemplo el policarbonato, el poliuretano, la poliamida o el acrílico.

2.8 Tapones y sus propiedades al ser derretido [18]

Los tapones de plástico utilizados en este proyecto están hechos de polietileno de alta densidad. Este proyecto es continuación de otro en el que se determinaron las propiedades mecánicas que tiene una probeta hecha con tapones derretidos y su viabilidad como material para fabricar una prótesis.

Tras ensayar el material se obtuvo una resistencia a flexión σrot = 32,66 MPa y una dureza HV= 3,52 Kp/mm2 lo cual permite a una prótesis soportar alrededor de 20 kg antes de doblarse y unos 47 kg hasta romperse.

2.9 Latas de aluminio [14]

Para elaborar los moldes se utilizarán latas de aluminio las cuales son muy comunes y accesibles. El aluminio es un material muy ligero y resistente. Tiene una densidad de 2,7 g/cm3 lo cual lo hace tres veces menos pesado que el acero. Además, tiene una gran resistencia a la corrosión lo cual es de gran utilidad para los moldes ya que se pretende que sean reutilizables para efectuar muchas piezas. Como todos los metales, el aluminio es un excelente transmisor de calor y electricidad. Es un material muy dúctil lo cual facilita el poder doblar las latas para efectuar los moldes. Es impermeable y totalmente reciclable.

3. Motivación

La motivación fundamental para llevar a cabo este proyecto reúne tres aspectos diferentes. El motor fundamental para elaborar la prótesis ha sido crear un producto que mejore la calidad de vida de las personas que no disponen de recursos que en determinados territorios son prácticamente básicos. Con este proceso de fabricación se solventará un problema que tiene mayor incidencia en campos de refugiados y países subdesarrollados, y se dotará a los pacientes de los conocimientos necesarios para poder elaborar las prótesis con total independencia y sin costes.

En segundo lugar, y con carácter más general se ha buscado un proyecto que permitiera reducir el impacto que la actividad humana está teniendo sobre los recursos naturales. El reciclaje, actividad que está implantándose en la sociedad muy lentamente pero que ofrece beneficios potenciales muy grandes, ha sido uno de los factores más decisivos a la hora de elegir este proyecto.

Por último, este proyecto no sólo supone una mejora en la cotidianeidad de los afectados, sino que constituye una herramienta que aportará motivación, ilusión, optimismo y bienestar psicológico y emocional, todas ellas cualidades indispensables para que el ser humano luche por salir adelante.

4. Objetivos del proyecto

- **OBJETIVO 1:** En este proyecto se diseñará una prótesis de mano.
- **OBJETIVO 2:** Se diseñará un método para fabricarla a partir de latas, tapones de plástico, cuerdas y gomas.
- **OBJETIVO 3:** Se conseguirá fabricarla utilizando únicamente herramientas muy rudimentarias para que cualquier persona sea capaz de fabricarla sin requerir formación específica ni conocimientos técnicos.
- **OBJETIVO 4:** Se conseguirá que la prótesis pueda efectuar movimientos mecánicos útiles que faciliten el día a día de sus usuarios.

5. Alineación con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS)

Actualmente se reciclan únicamente el 19% de todos los plásticos que se utilizan. La prótesis se realiza con materiales 100% reciclados lo cual ayuda a cuidar el medioambiente y a reducir la acumulación de basura. Dado que la prótesis está destinada a lugares con pocos recursos y de pobreza, se pretende hacer accesible un producto que en principio sólo está al alcance de lugares desarrollados a cualquier persona. Esto ayuda a reducir la exclusión social especialmente en los niños que adquieren confianza cuando consiguen llevar una prótesis a la cual antes no tenían acceso. La prótesis puede ayudar a personas a efectuar trabajos que antes no podían y otorgarles más oportunidades. Se mejora así la calidad de vida de las personas. Este proceso de fabricación de prótesis aporta independencia a estos lugares y pretende ser una motivación para que se elaboren nuevas formas sostenibles de elaborar productos de forma fácil y sin necesidad de herramientas. La fabricación de la prótesis se efectuará con energía limpia ya que el calentamiento del plástico está pensado para hacerse con un horno solar.

Fig. 15 Objetivos de desarrollo sostenible del proyecto [19]

6. Metodología de trabajo

Para empezar, se hará un estudio de los tipos de prótesis de mano existentes y de su funcionamiento. Seguidamente se efectuará un diseño en SolidWorks de la prótesis completa. Mediante la utilización de latas y tapones de plástico derretido se fabricarán los moldes y las piezas que componen la prótesis. El diseño original se irá actualizando continuamente para conseguir un método de fabricación simple y adecuado. Finalmente se procederá a escribir la memoria y se efectuarán los planos necesarios para que cualquiera pueda reproducir el proceso y fabricarse su propia prótesis.

7. Recursos a emplear

Para los diseños de la prótesis, los moldes y la elaboración de los planos se utilizará el programa “SolidWorks”. Para elaborar los moldes se utilizarán latas de refrescos, tijeras y palillos. Para fabricar

las piezas se utilizarán tapones de botellas derretidos en un horno y compactados en los moldes. Para la unión de las piezas de la prótesis se utilizarán cuerdas, gomas elásticas y latas.

8. Primer diseño de la prótesis

Antes de comenzar a efectuar el primer diseño de la prótesis, se hace un estudio de manos impresas en 3D para utilizar como referencia. Concretamente se ha analizado en profundidad la prótesis "Raptor Reloaded" y se ha obtenido un diseño en Solidworks para poder estudiar el diseño y su mecanismo.

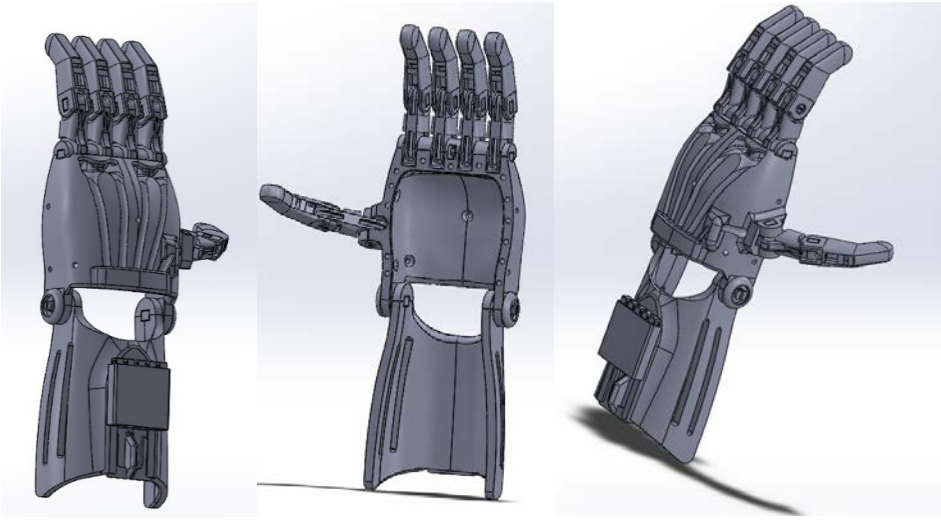


Fig. 16 Diseño base de la prótesis en SolidWorks

Para empezar el proyecto se hace un diseño partiendo de cero en SolidWorks de una prótesis, basado en los diseños y mecanismos estudiados. Este diseño trata de evitar geometrías complejas y está centrado en la máxima simplicidad ya que el proceso de fabricación de las piezas limitará mucho la precisión que se podrá obtener.

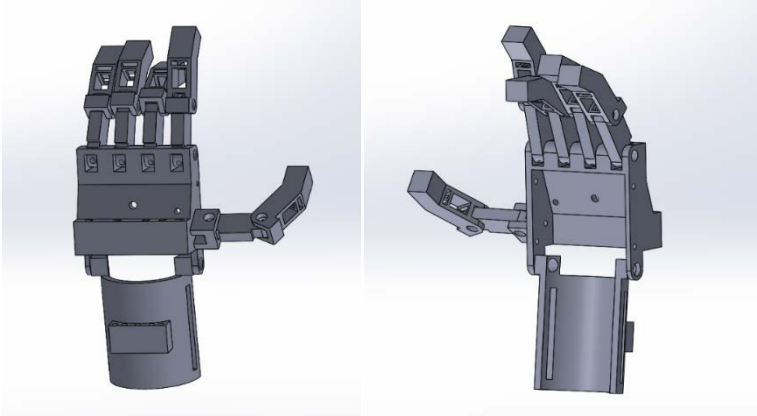


Fig. 17 Primer diseño simplificado de la prótesis

También se pretende utilizar el menor número de piezas posibles, por lo que todos los dedos serán iguales, lo cual permitirá reutilizar los moldes y minimizar tiempos en la fabricación. La parte superior del dedo se diseña inclinada para evitar tener que incluir una falange más en el mecanismo. En el agujero de la parte trasera del dedo se atará una cuerda elástica que será la que mantenga el dedo en posición estirada y hará que el dedo vuelva a esta posición automáticamente después de flexionarlo. Del mismo modo en la parte frontal del dedo se atará una cuerda que cuando sea tensada permitirá su flexión para así poder agarrar objetos con la prótesis.

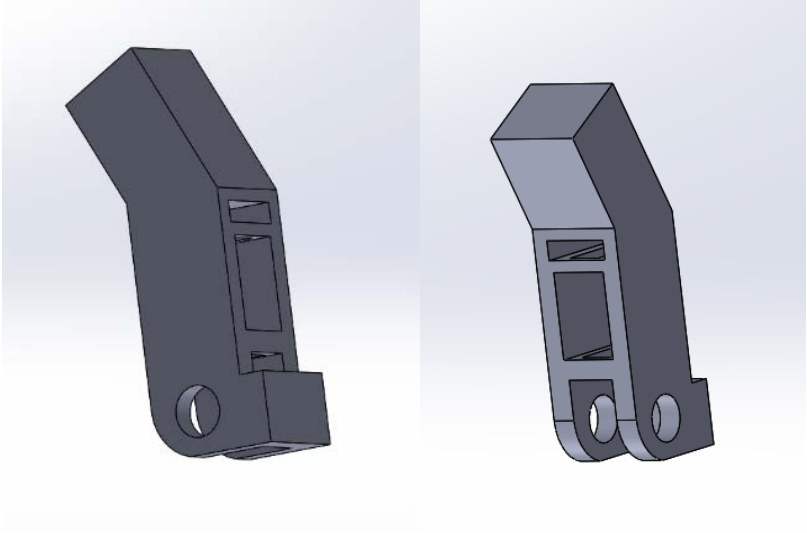


Fig. 18 Diseño punta del dedo

La mitad del dedo está formada por una pieza muy simple la cual tiene dos agujeros que la atraviesan longitudinalmente. Por uno pasará la cuerda y por el otro la goma elástica. Los salientes en las piezas del dedo se utilizan como topes para que cuando choquen entre ellas se evite que el dedo supere la posición totalmente estirada. Los dos agujeros grandes servirán para unir la pieza al dedo y a los nudillos de la mano.

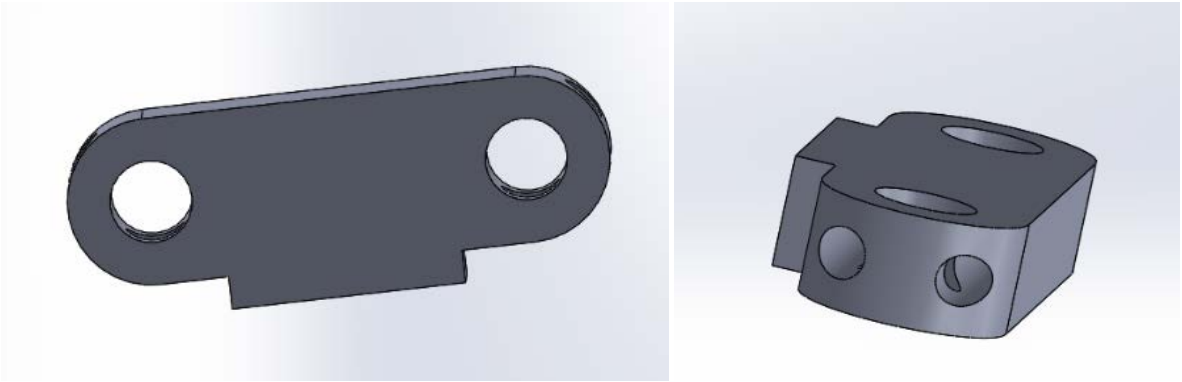


Fig. 19 Diseño mitad del dedo

7En la pieza de la mano irán anclados todos los dedos. De nuevo existen números agujeros para las cuerdas y gomas. Todas las gomas de los dedos se juntarán y atarán a un único agujero situado en el centro de la mano. Las cuerdas por otra parte tendrán cada una un agujero por el que se introducirán ya que tendrán que estar atadas a la pieza de la parte del brazo donde podrán ser tensadas individualmente. También hay agujeros a los lados de la mano para poder introducir cuerdas y que el muñón de la mano quede sujeto.

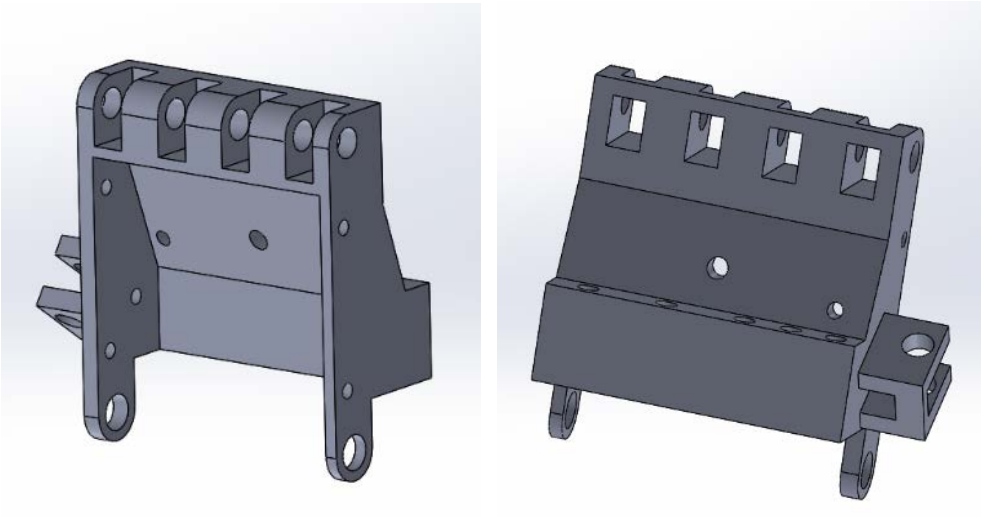


Fig. 20 Diseño palma de la mano

La pieza del brazo contiene los agujeros a los que irán atadas las cuerdas y donde se podrá ajustar su tensión individualmente. Las ranuras laterales de la pieza están pensadas para trenzar una goma elástica y que así la pieza quedé sujeta al brazo del usuario.

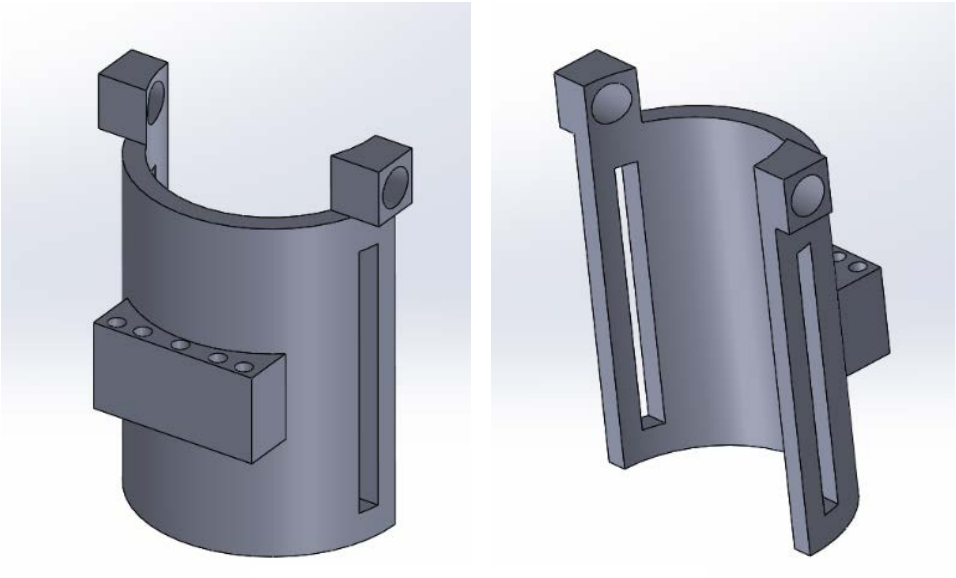
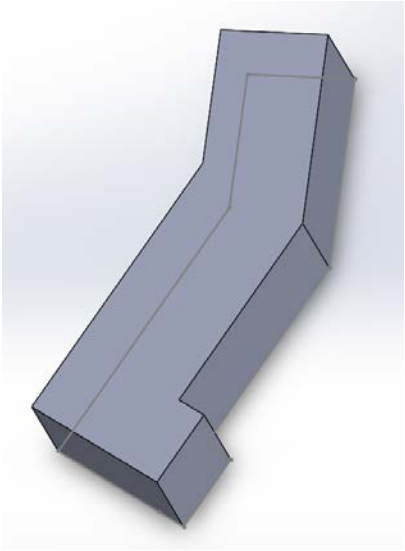
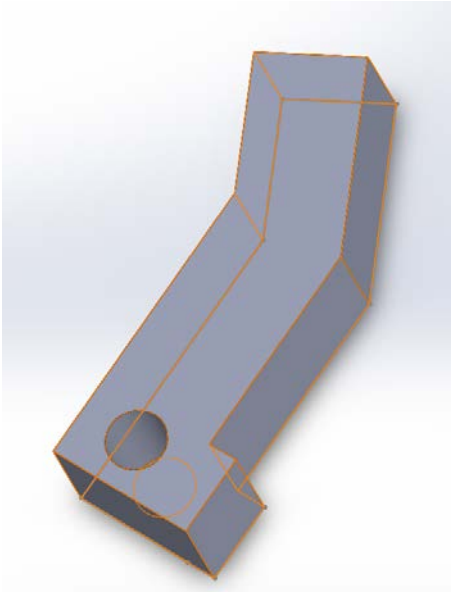


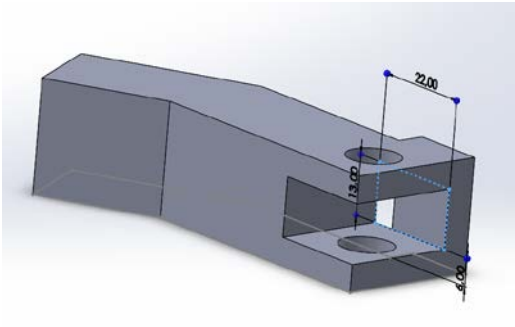
Fig. 21 Diseño brazo

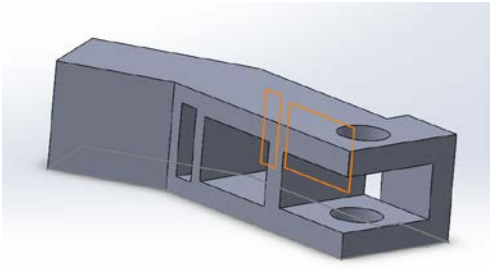
En las siguientes imágenes se muestran los pasos seguidos en SolidWorks para diseñar las piezas de la prótesis en detalle:

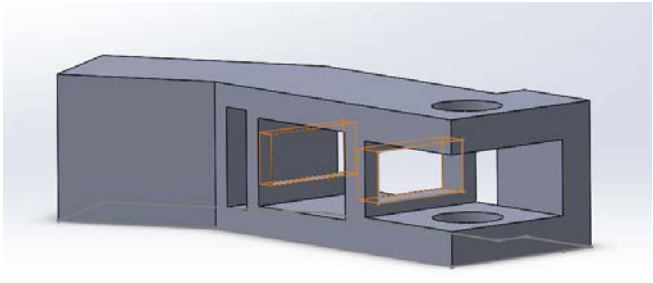
Punta del dedo

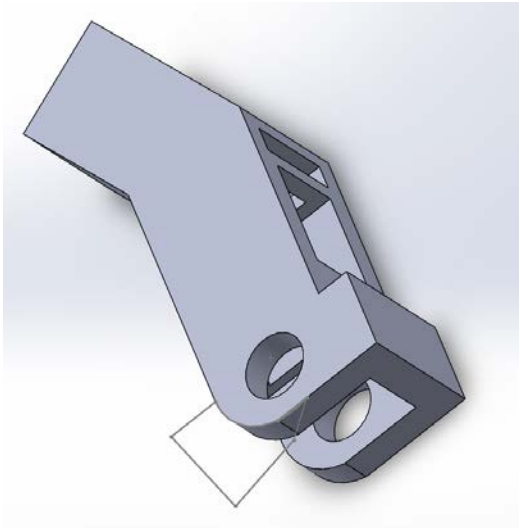




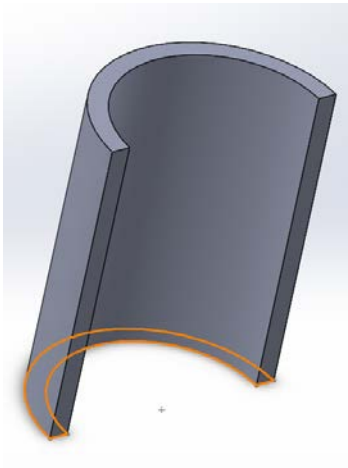


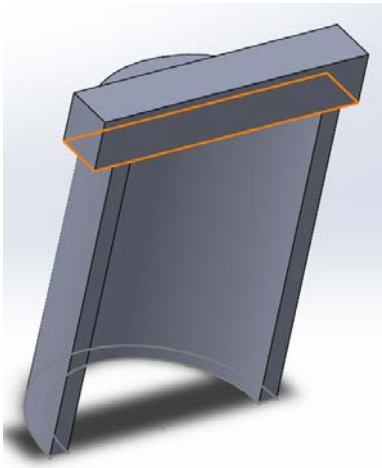


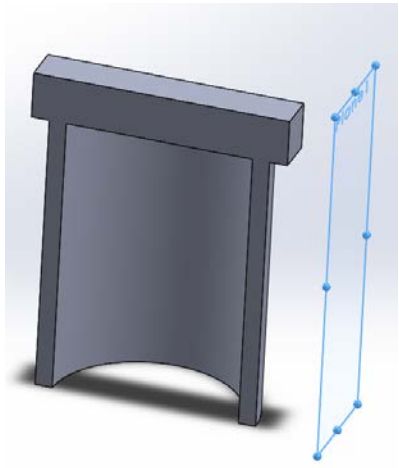


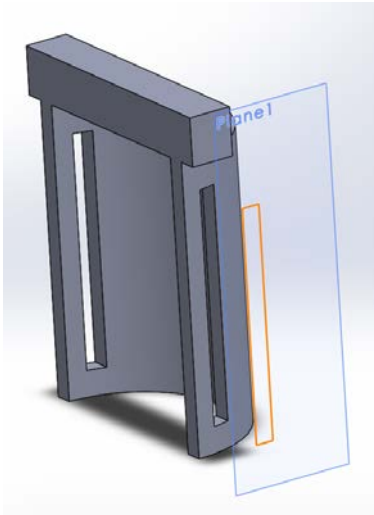


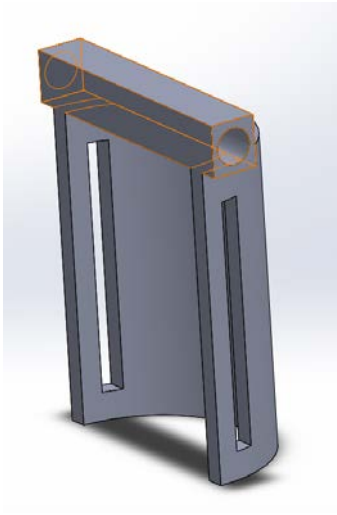
Brazo

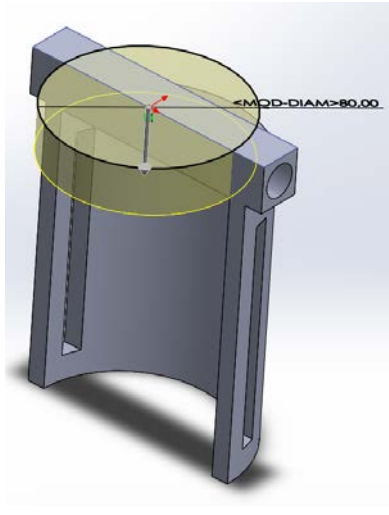


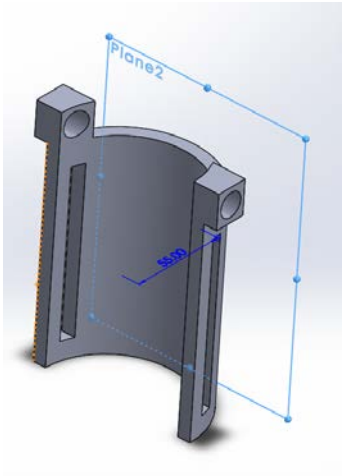


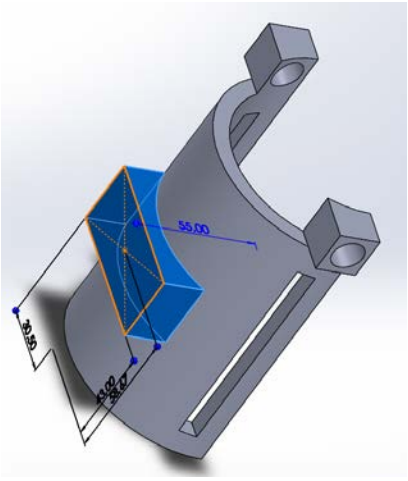


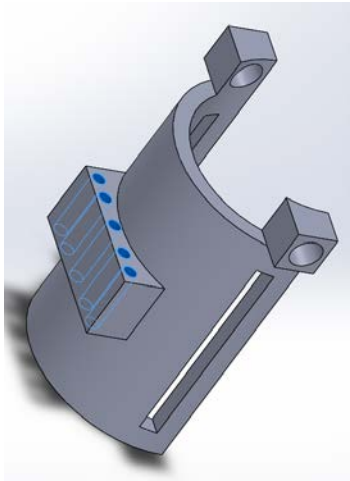




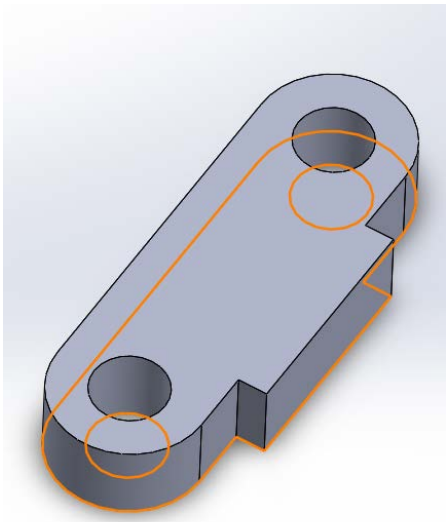


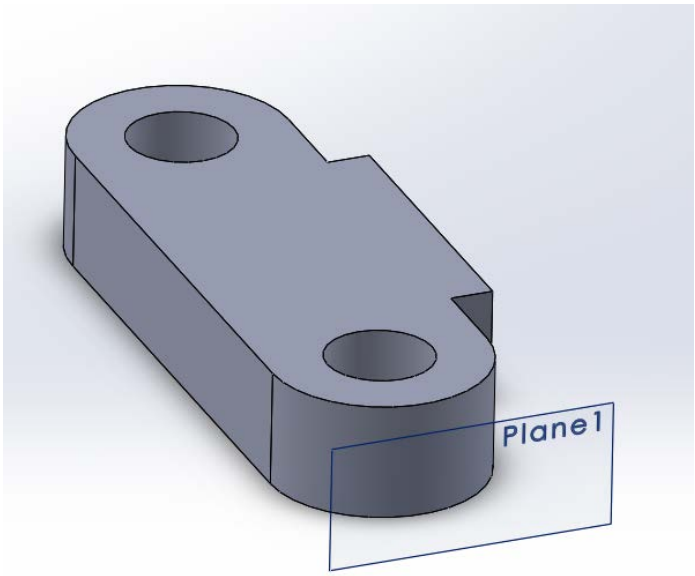


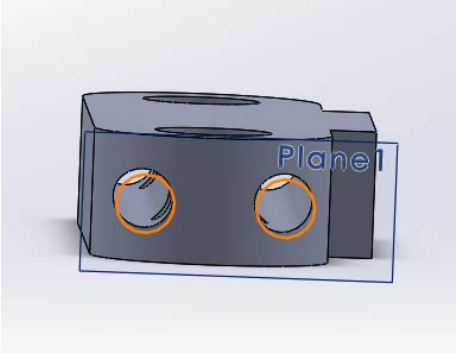
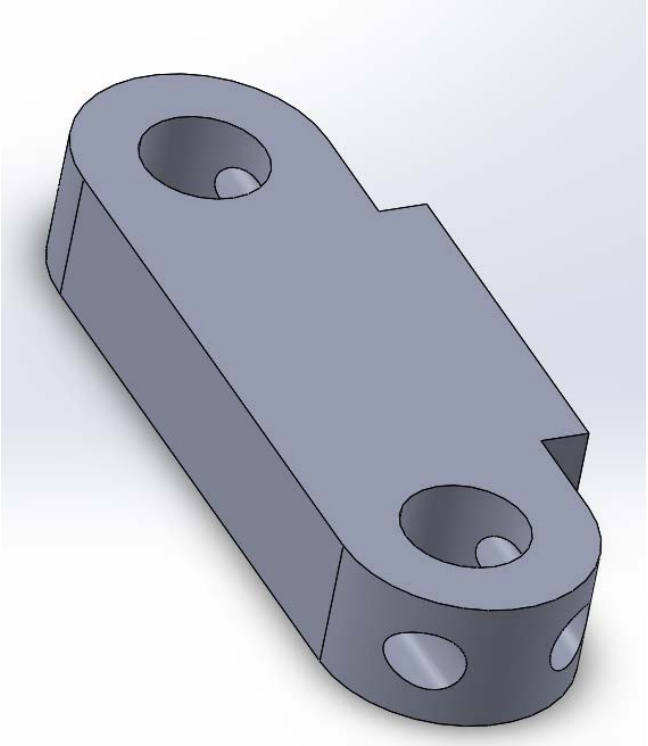




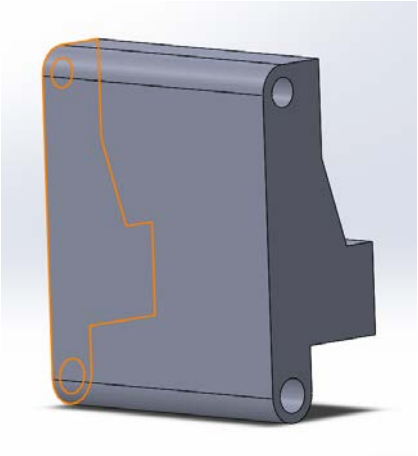
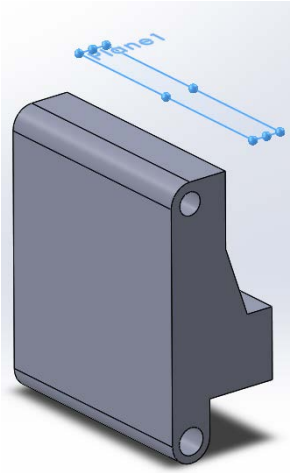
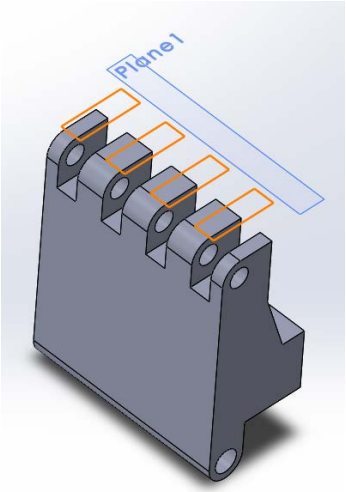
Mitad del dedo

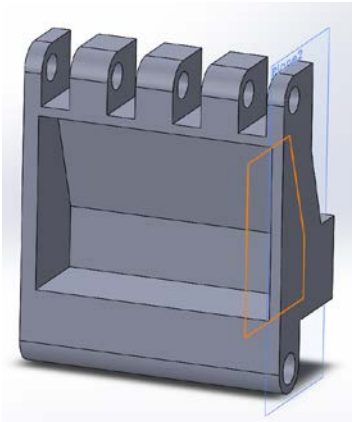
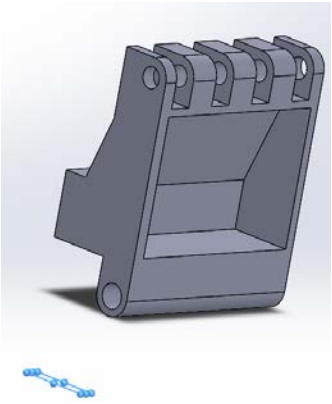
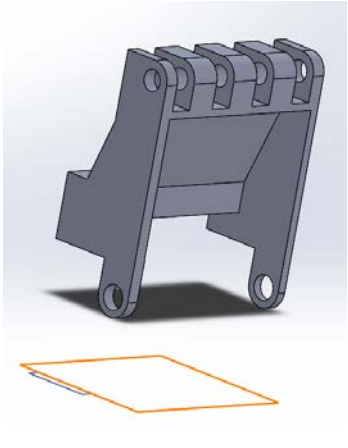
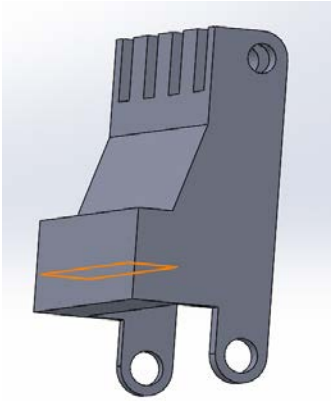
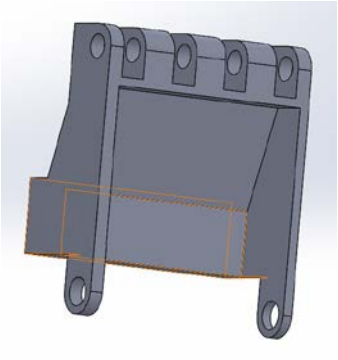
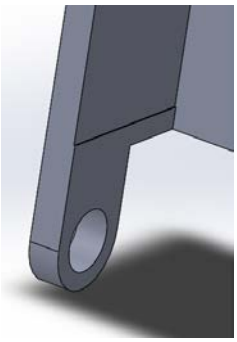
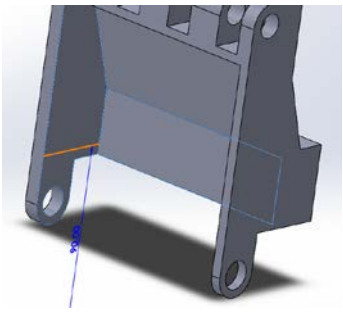
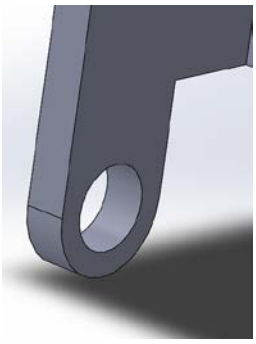


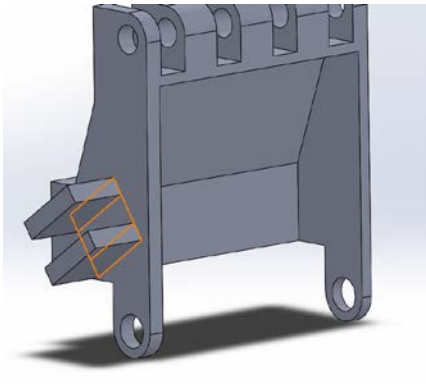
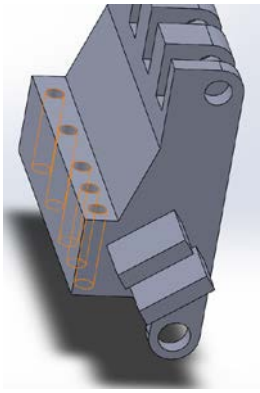
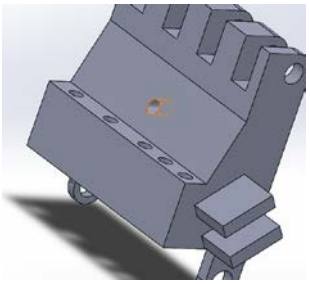
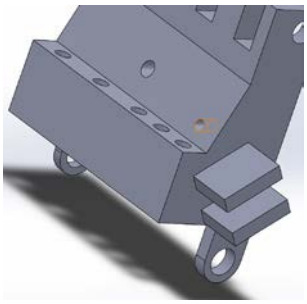
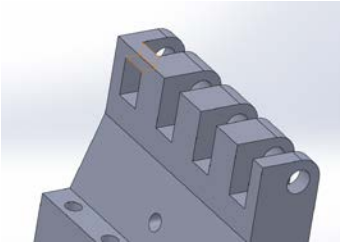
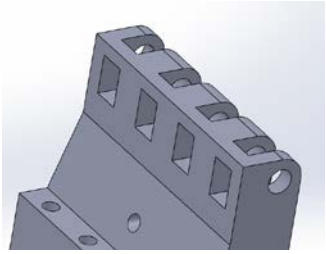
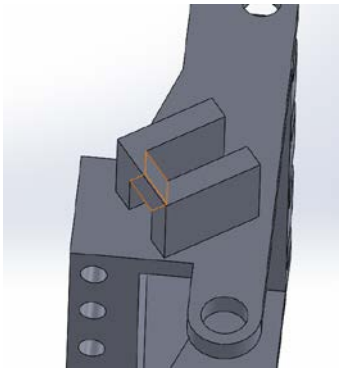
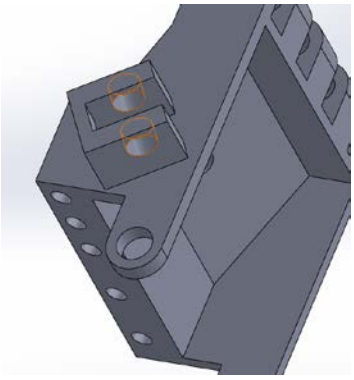
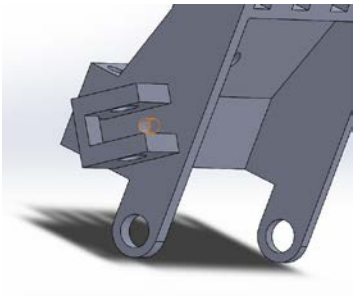


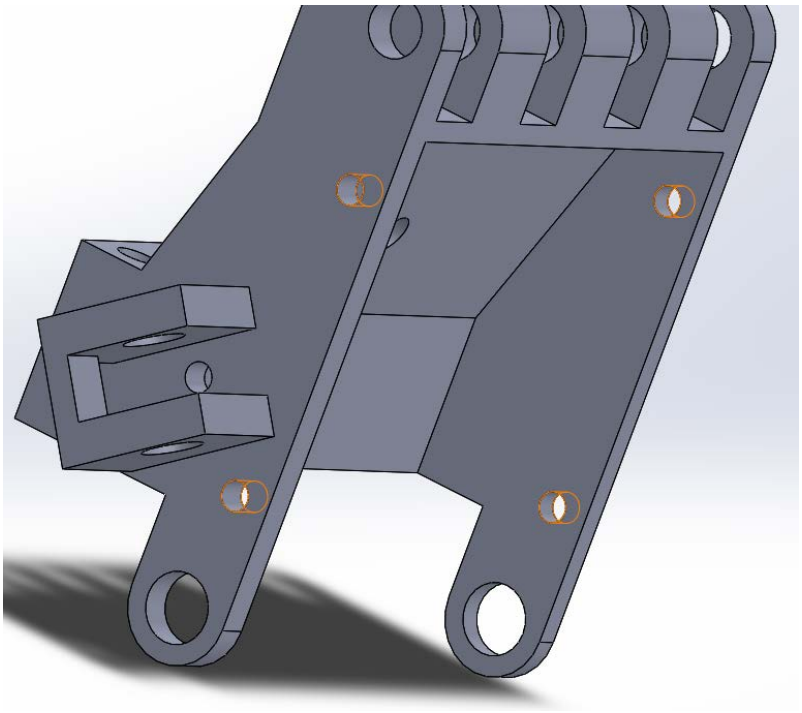
	

Palma de la mano



9. Molde de la mitad del dedo

Para empezar a experimentar con los moldes de las piezas, se elige la pieza más sencilla del primer diseño de la prótesis, es decir, la mitad del dedo.

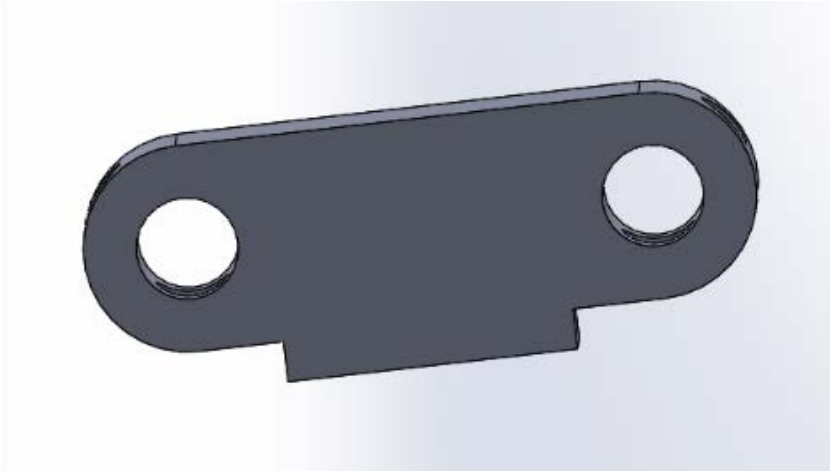


Fig. 22 Diseño mitad del dedo en SolidWorks

El molde se elabora con latas y se pretende que sea sencillo de hacer para cualquier persona. Los primeros diseños se hacen en cartón ya que se trabaja más rápido que el metal y se ve rápidamente si el molde es viable y tiene sentido. En el primer intento de molde se aprecia la dificultad para efectuar las zonas curvas de la pieza. Este molde además está formado por varias piezas de lata por lo que su montaje se complica. Otro inconveniente es que las pestañas efectuadas en una de las piezas se rompen fácilmente al doblarlas sobre la otra.

Fig. 25 Prueba de molde en cartón

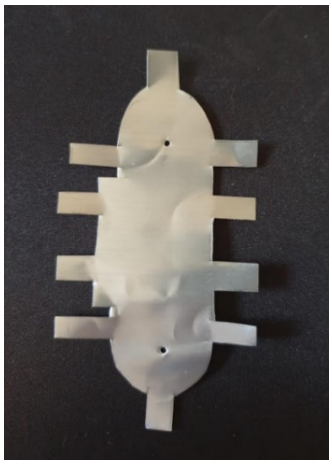


Fig. 24 Prueba de base de molde en aluminio

Fig. 23 Prueba de molde acabado

Debido a las dificultades encontradas al realizar el molde se decide rediseñar la pieza de la mitad del dedo para que sea más simple mediante la eliminación de las zonas curvas.

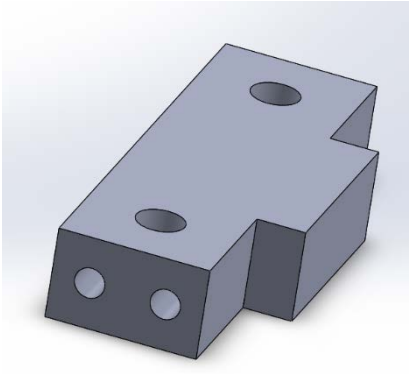


Fig. 26 Diseño simplificado en SolidWorks

Ahora que la pieza es más simple se efectúa otro molde. En esta ocasión se pretende que el monde se pueda doblar a partir de un único trozo de lata. Primero se efectúa un diseño en 2D para saber cómo debe ser doblado y cortado el trozo de lata.

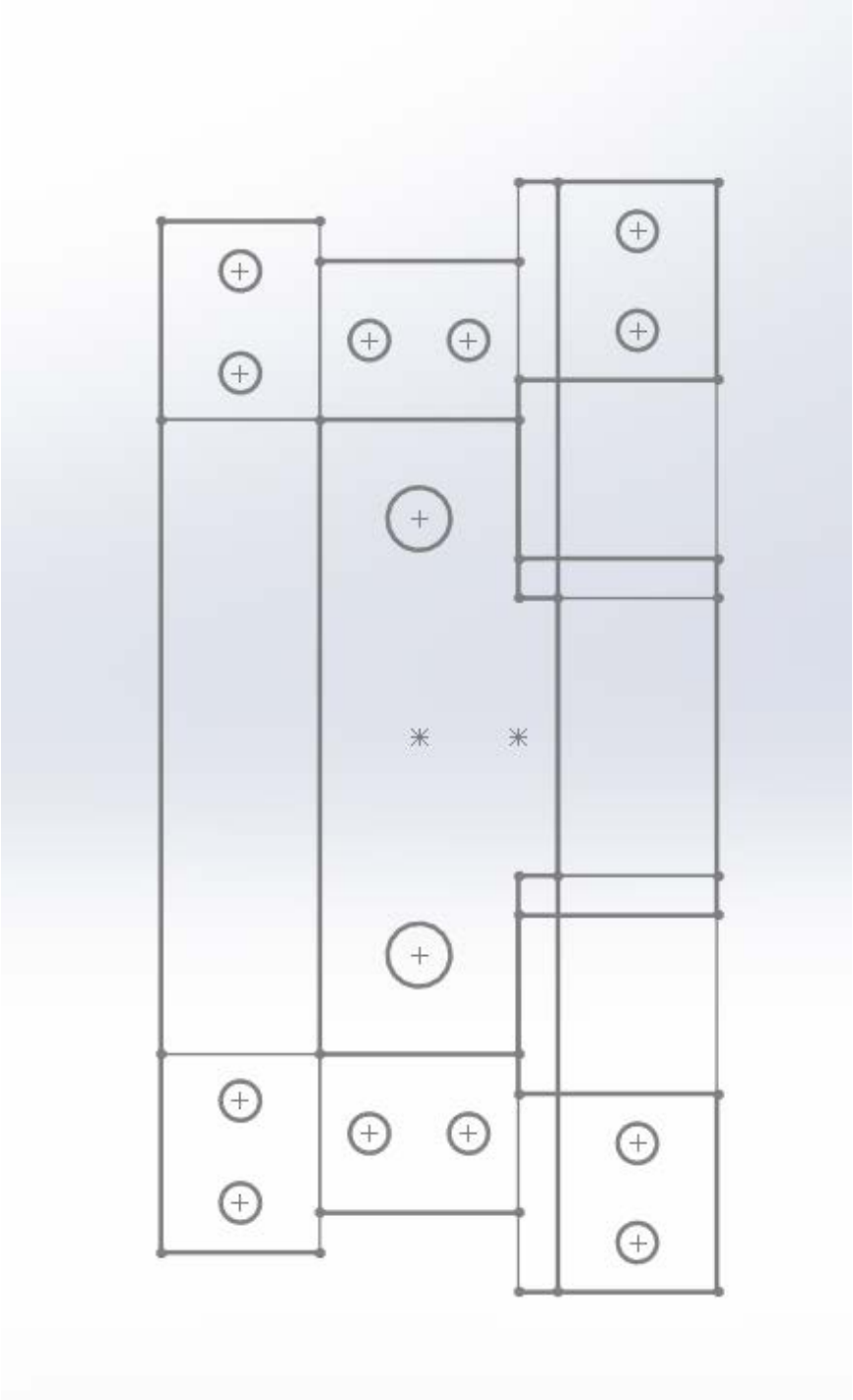


Fig. 27 Diseño 2D en SolidWorks

De nuevo, primero se hace un prototipo en cartón.

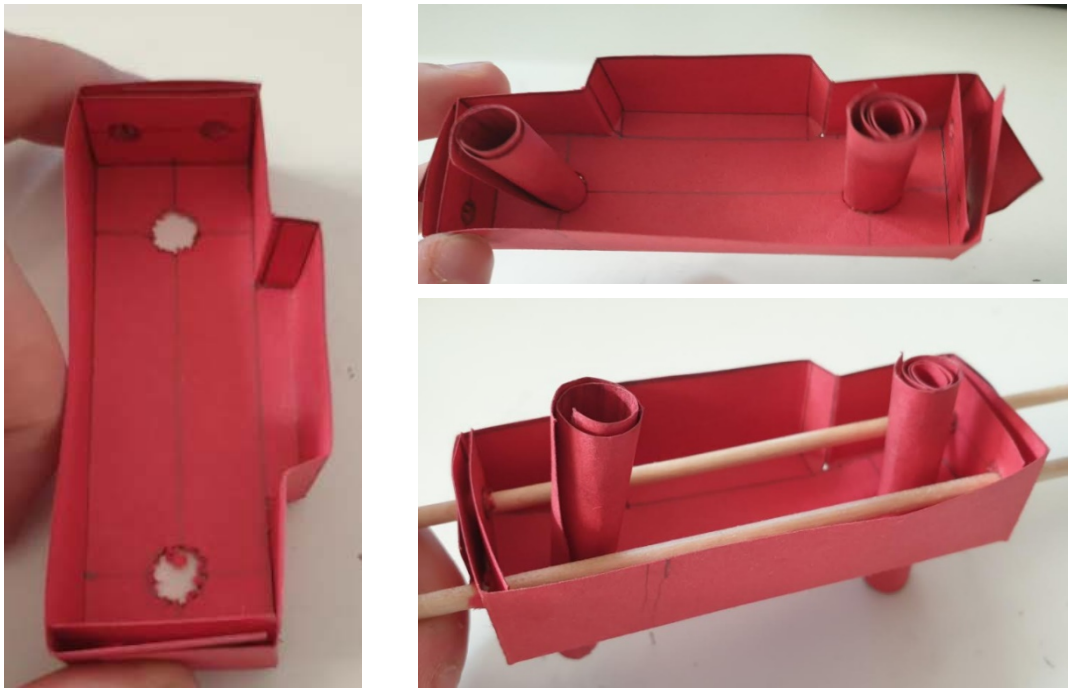
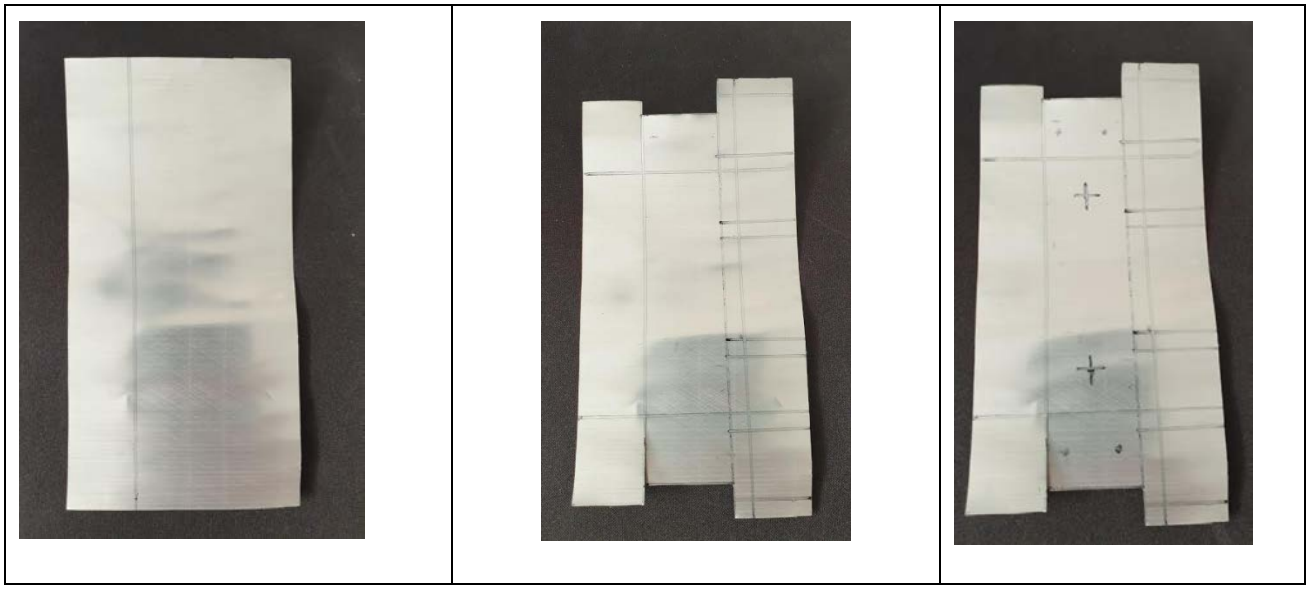
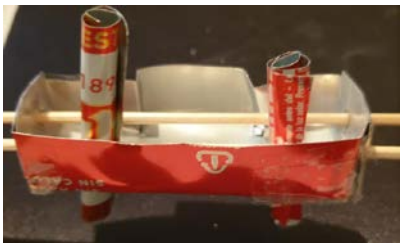
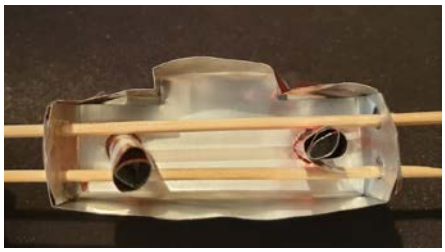


Fig. 28 Prototipo de molde en cartulina

Seguidamente se efectúa el molde con un trozo de lata como se muestra a continuación:



Se recomienda doblar la lata con cuidado y no hacer dobleces muy acentuados ya que se podría partir el metal.

Para efectuar la pieza se fundirá plástico de tapones reciclados. Primero se deben cortar los tapones en trozos más pequeños para poder adaptarlos mejor al molde. Cortar los tapones requiere de esfuerzo por lo que se recomienda utilizar un cuchillo para cortarlos y luego aplanarlos antes de utilizar unas tijeras para cortarlos en trozos pequeños.

Fig. 29 Corte de los tapones

Antes de efectuar la primera pieza, se hace una pequeña prueba derritiendo cuatro tapones dentro de una lata para comprobar la textura y experimentar con el comportamiento del plástico.

Fig. 30 Prueba con plástico derretido

Se cortan los tapones en pequeños trozos y se introducen en el molde. Se mete el molde en el horno a unos 180 grados hasta que el plástico derrita. Cuando el plástico esté blando se debe ir prensando para compactarlo. Para prensar se recomienda utilizar un lápiz, boli o una pieza de madera o metal.

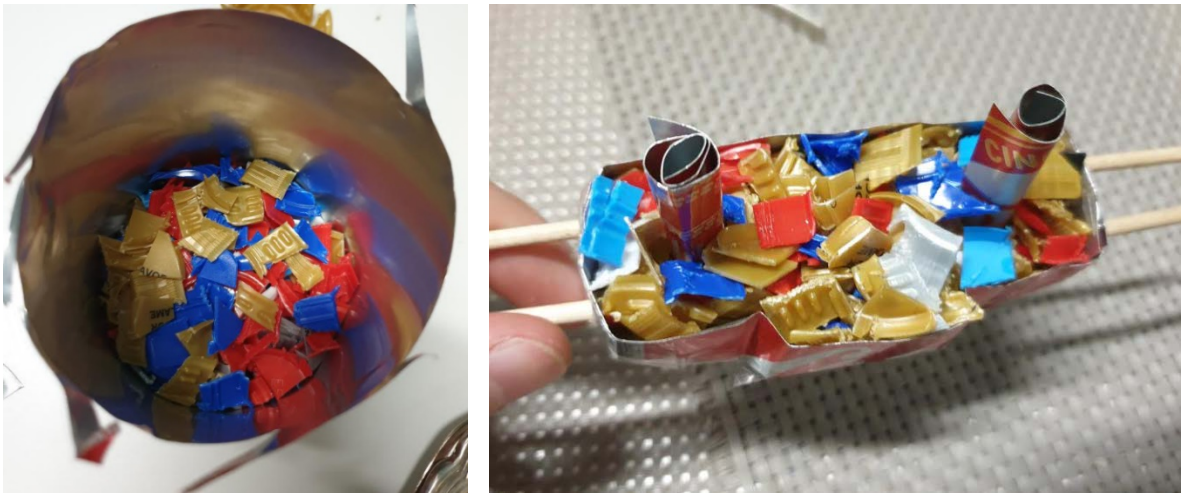


Fig. 31 Molde relleno de trozos de tapones de plástico

Fig. 32 Plástico fundiéndose en el horno

A medida que se va prensando el plástico se añaden más trozos de tapón hasta que el molde quede bien compacto y relleno. Se deja enfriar el molde al aire libre. El molde no se queda pegado a la pieza por lo que se puede reciclar para las piezas del resto de dedos. Sin embargo, los pequeños orificios que atraviesan la pieza longitudinalmente que serán utilizados para introducir las cuerdas y gomas, contendrán los cilindros de lata en el interior. Esto facilita el deslizamiento de las cuerdas por dentro de la pieza.

Fig. 33 Pieza de la mitad del dedo acabada

10. Segundo diseño de la prótesis

Ahora que se conoce mejor el comportamiento del plástico fundido y las complicaciones que conlleva la elaboración de piezas, se decide rediseñar la prótesis para hacerla más sencilla aún y asegurar que las piezas salgan sin errores y con suficiente precisión. Para ello se decide evitar de nuevo zonas curvas y tratar de utilizar geometrías muy sencillas.

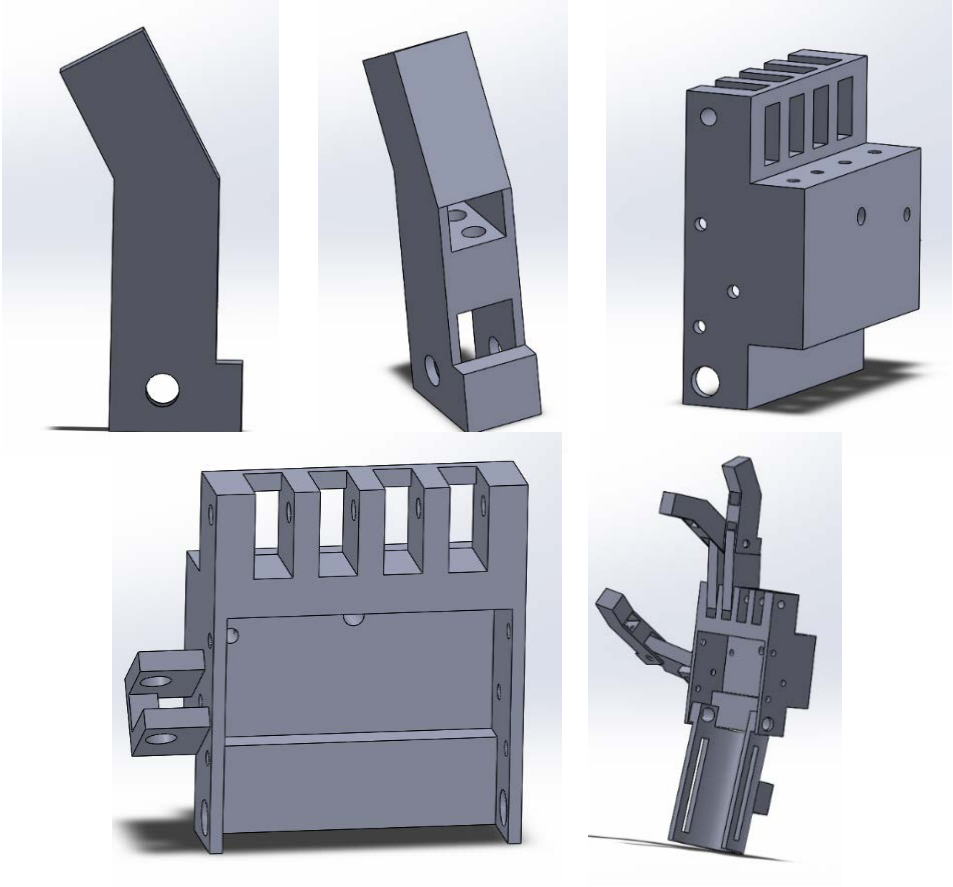


Fig. 34 Segundo diseño de la prótesis

11. Punta del dedo

La punta del dedo estará compuesta por 5 piezas que se unirán entre ellas. En primer lugar, se efectuará el molde para los dos laterales del dedo. Primero se efectúa el diseño 2D.

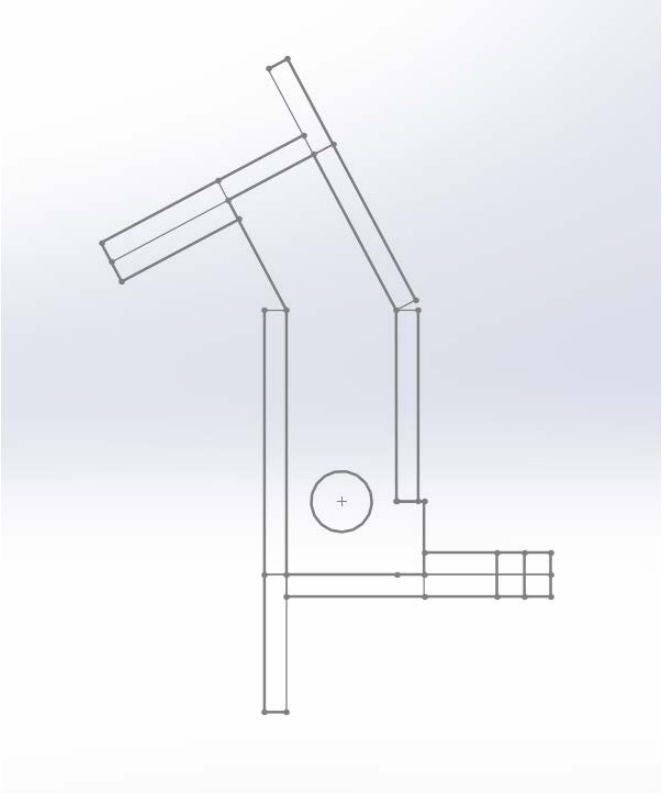


Fig. 35 Diseño 2D del molde

Seguidamente se hace un prototipo en cartón:

Fig. 36 Prototipo den cartón del molde

Finalmente se corta un trozo de lata y se efectúa el molde definitivo.

Fig. 37 Molde acabado

Es importante fundir varias capas de plástico para efectuar esta pieza ya que es muy fina y se le quiere dotar de la mayor resistencia posible. Para ello compactar bien las capas dentro del horno es crucial.

Fig. 38 Plástico fundiéndose en el molde

Las piezas quedan de la siguiente manera:

Fig. 39 Pieza del lateral de la punta del dedo acabada

Para intentar que la pieza quede lo más recta posible se recomienda ponerle peso encima al sacarla del horno (antes de sacarla del molde) ya que el plástico al enfriarse sufre contracciones y podría deformarse bastante. Esto pasa en especial en las piezas delgadas como esta.

La segunda pieza es la punta del dedo que ayudará a unir los laterales efectuados previamente. Se empieza por el diseño 2D en SolidWorks.

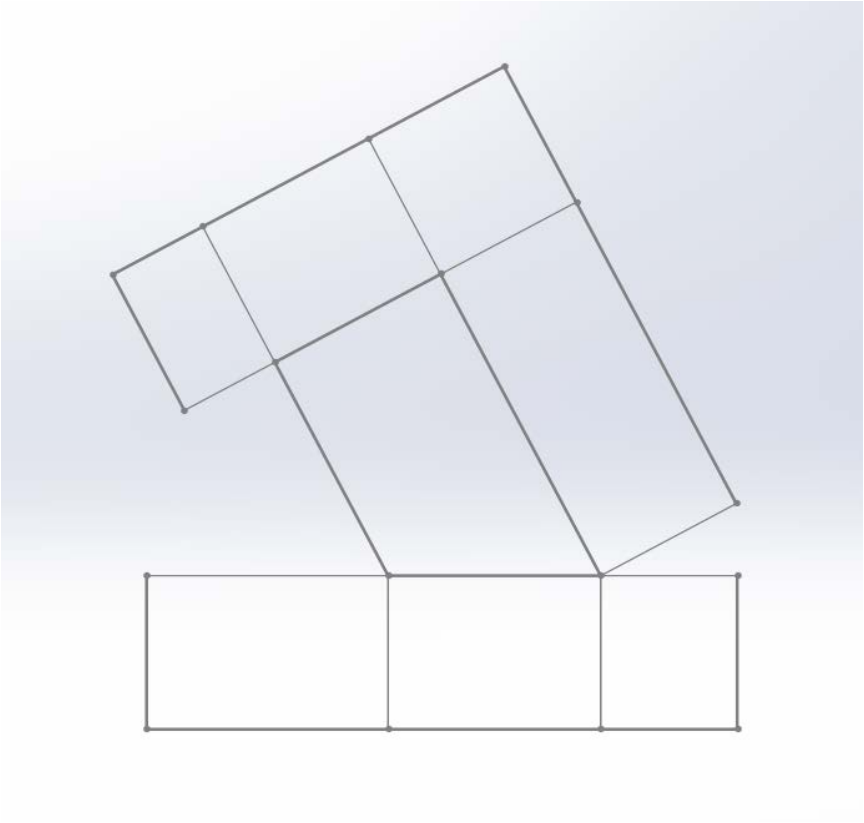


Fig. 40 Diseño 2D del molde en SolidWorks

Se efectúa el prototipo del molde en cartón:

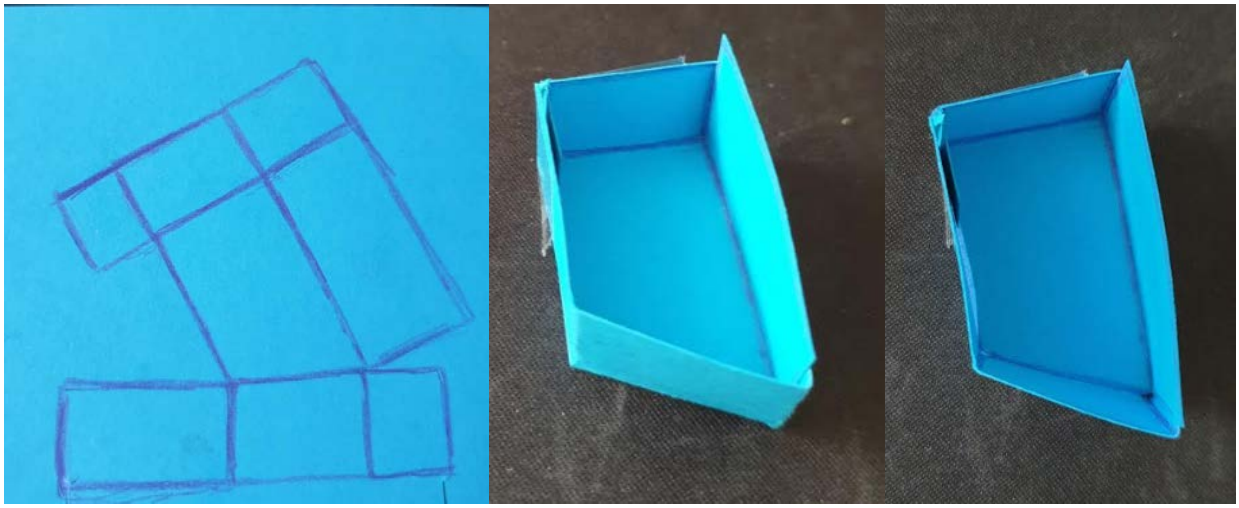


Fig. 41 Prototipo de molde en cartón

Molde final con lata:

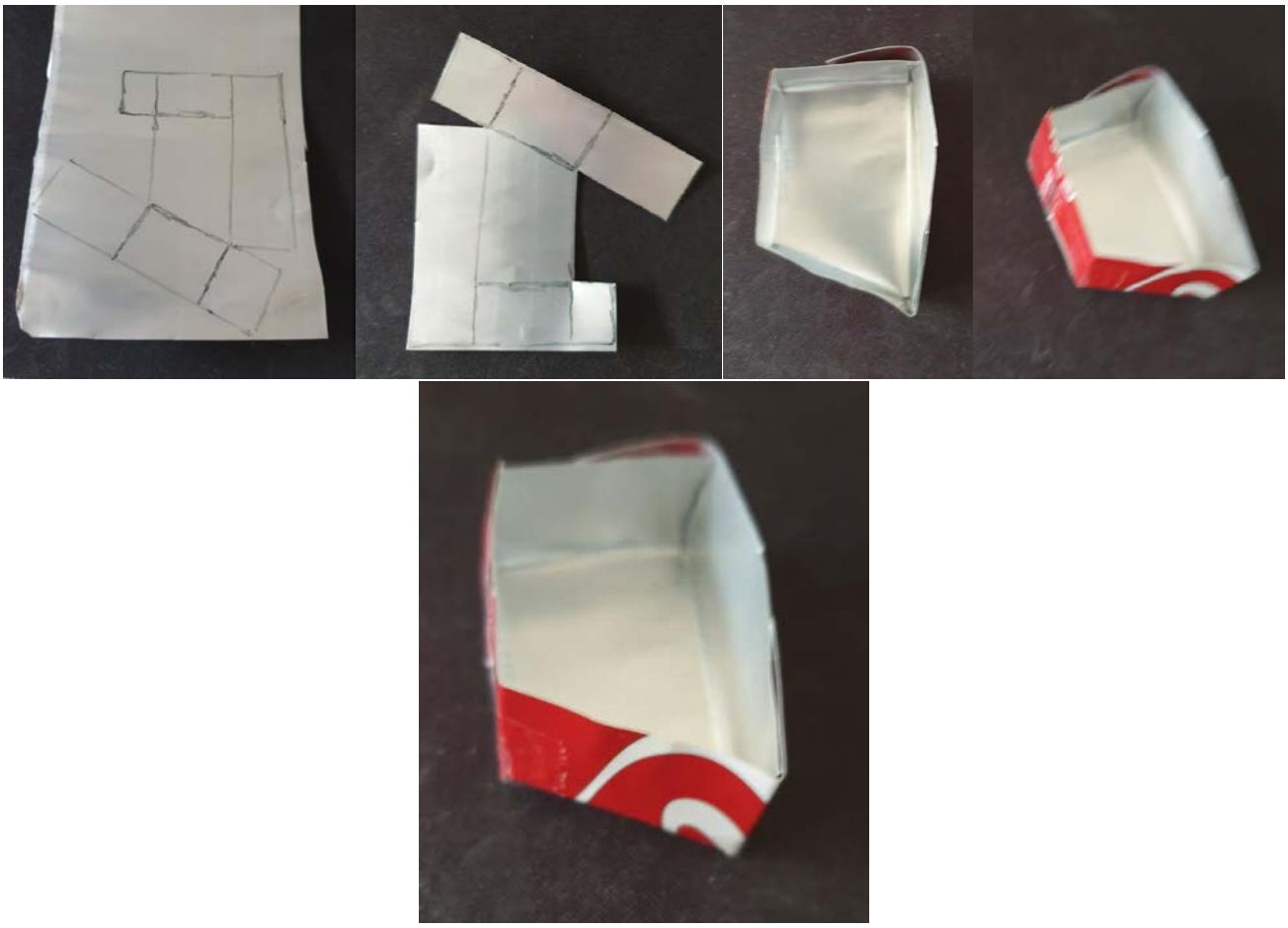


Fig. 42 Elaboración del molde con trozo de lata

Pieza en el horno:

Fig. 43 Pieza fundiéndose en el horno

Pieza final:

Fig. 44 Pieza acabada

El molde de la mitad de la punta del dedo ayuda de nuevo a unir los laterales y contiene dos agujeros para permitir el paso de las cuerdas y las gomas.

Diseño del molde en 2D:

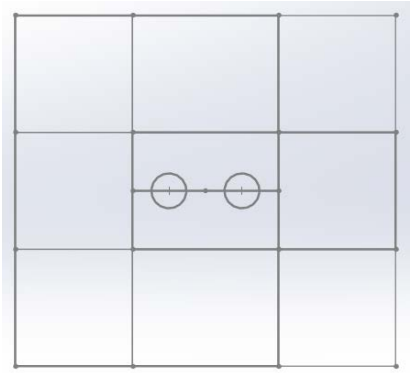


Fig. 45 Diseño del molde en 2D

Prototipo del molde en cartón:

Fig. 46 Prototipo de molde en cartón

Molde definitivo hecho con trozo de lata:

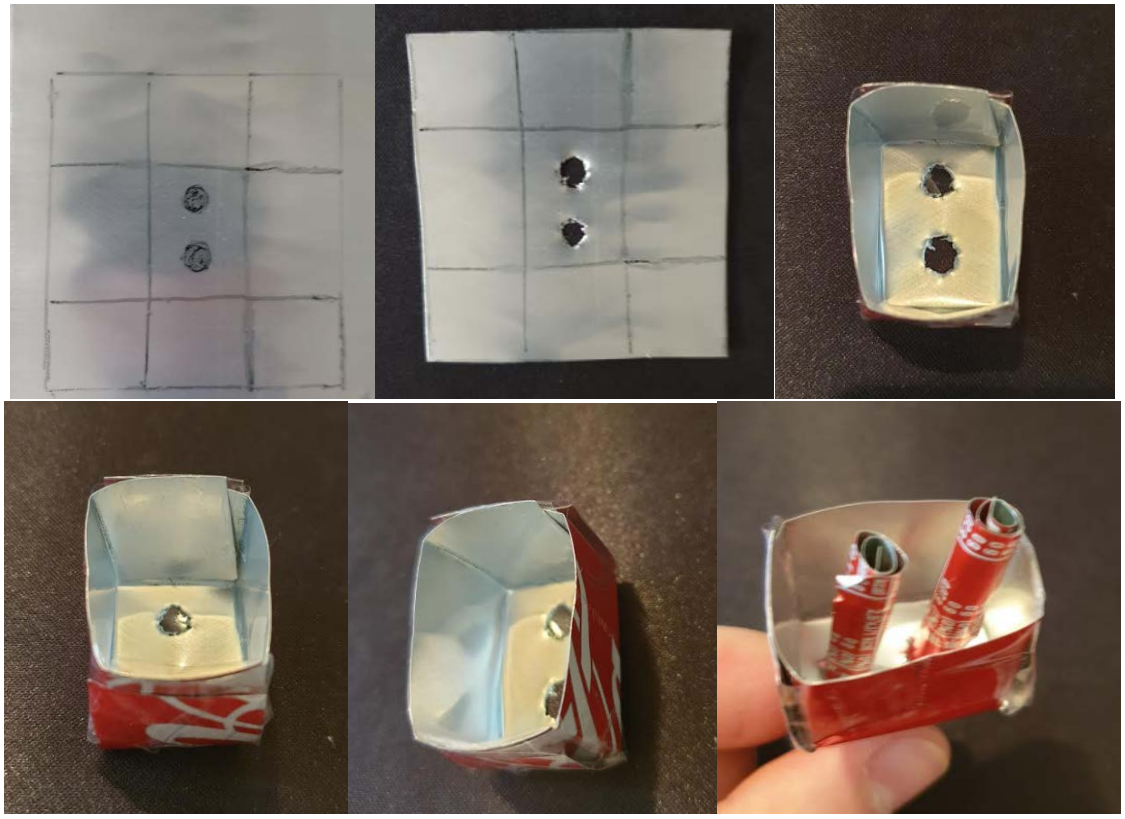


Fig. 47 Fabricación del molde a partir de lata

Tope de la punta del dedo en 2D:

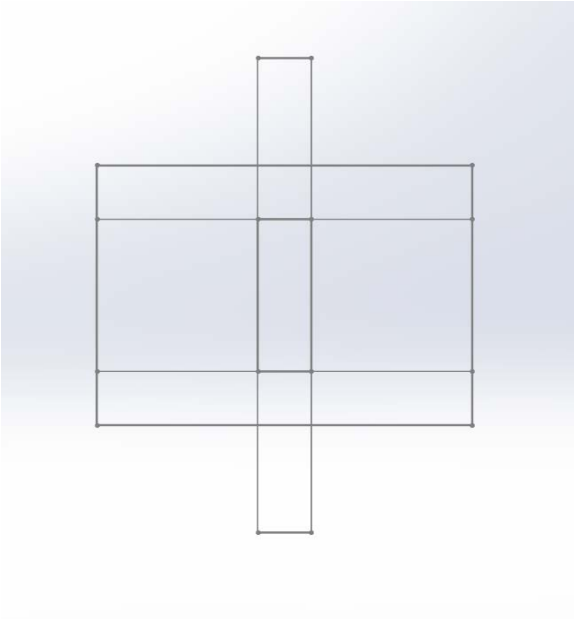


Fig. 48 Diseño 2D en SolidWorks

Molde de tope de la punta del dedo en cartón:

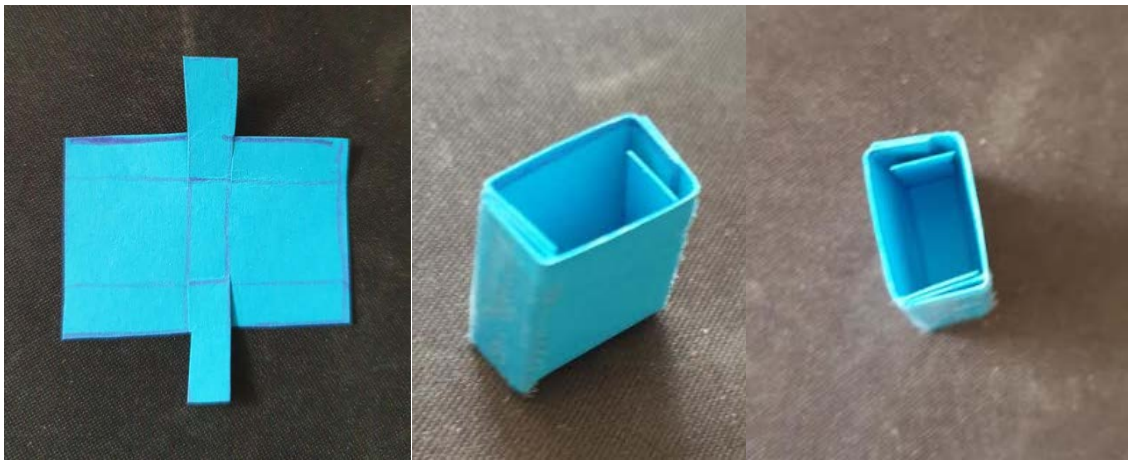


Fig. 49 Prototipo de molde en cartón

Molde tope de la punta del dedo definitivo con lata:

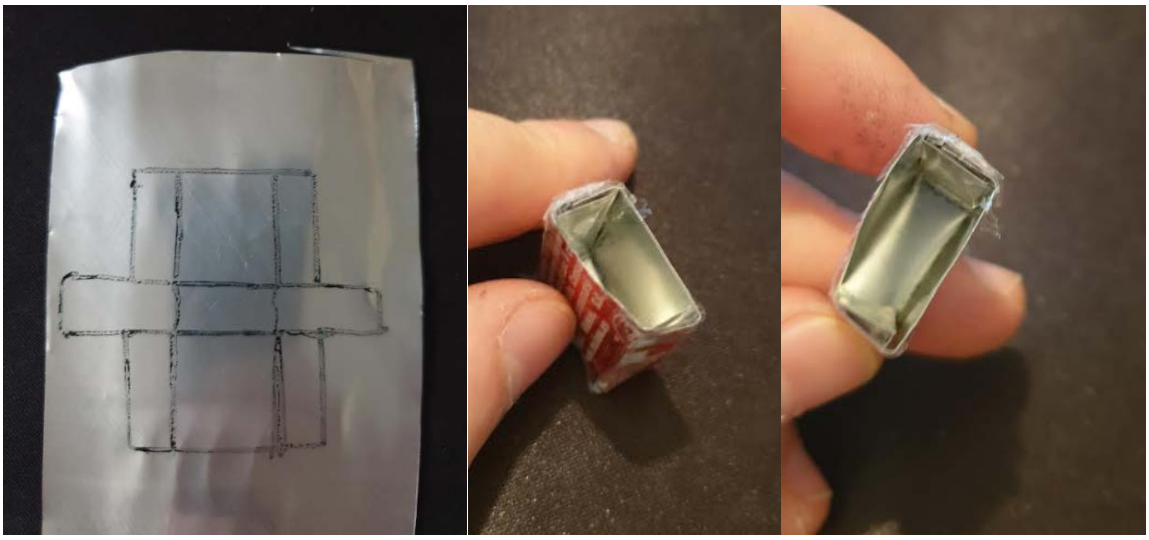


Fig. 50 Fabricación de molde con lata

Pieza final de la punta del dedo con todas las partes unidas:

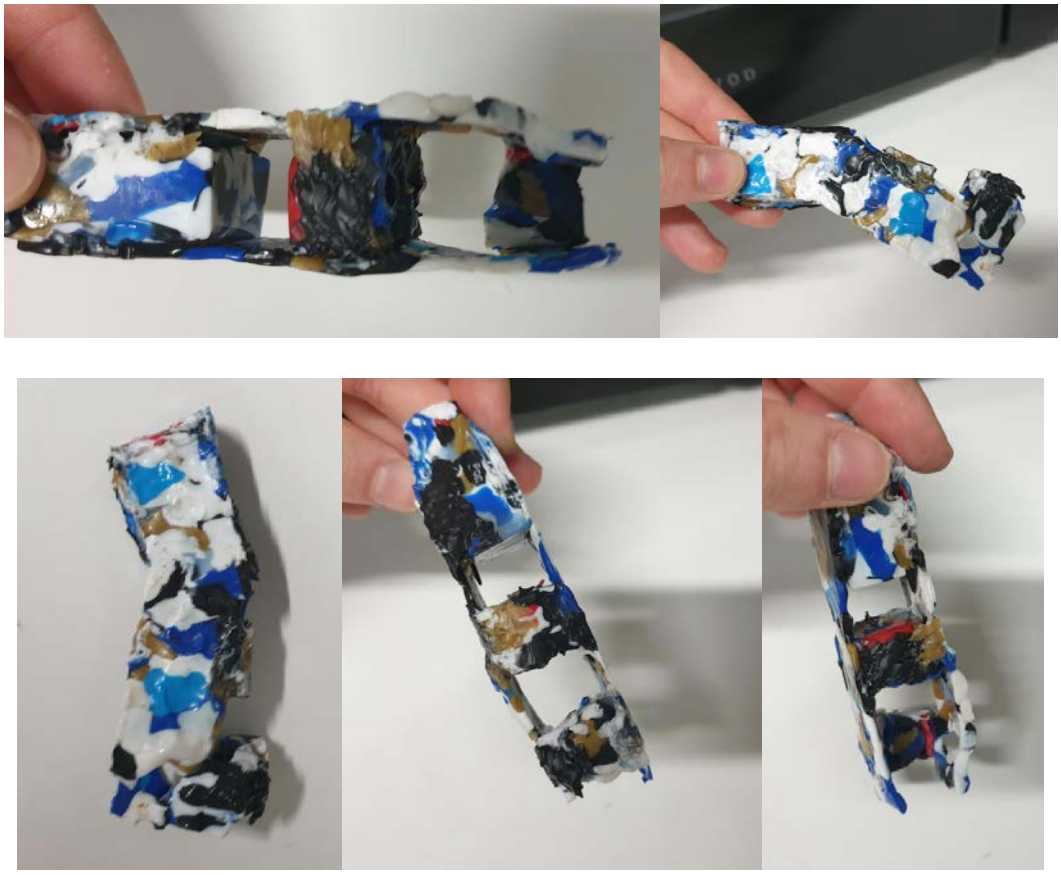


Fig. 51 Pieza de la punta del dedo acabada

Mecanismo de la punta del dedo y la mitad del dedo unidas:

Fig. 52 Unión punta del dedo y mitad del dedo

Al comprobar el movimiento del dedo sobre la mitad del dedo se aprecia que el tope entorpece el mecanismo y podría evitar el buen funcionamiento de la prótesis. Por tanto, se decide prescindir de esta pieza y se conseguirá que el dedo quede en posición vertical mediante el ajuste de la tensión de las cuerdas.

12. Rediseño de la mano

A raíz de la eliminación del tope en la pieza del dedo, se decide quitar también todos los topes de la mano. Se evitará que las piezas puedan atascarse durante el movimiento debido a la falta de precisión que se consigue con este método de fabricación. Además, se simplifica la prótesis y se fabricarán menos piezas.

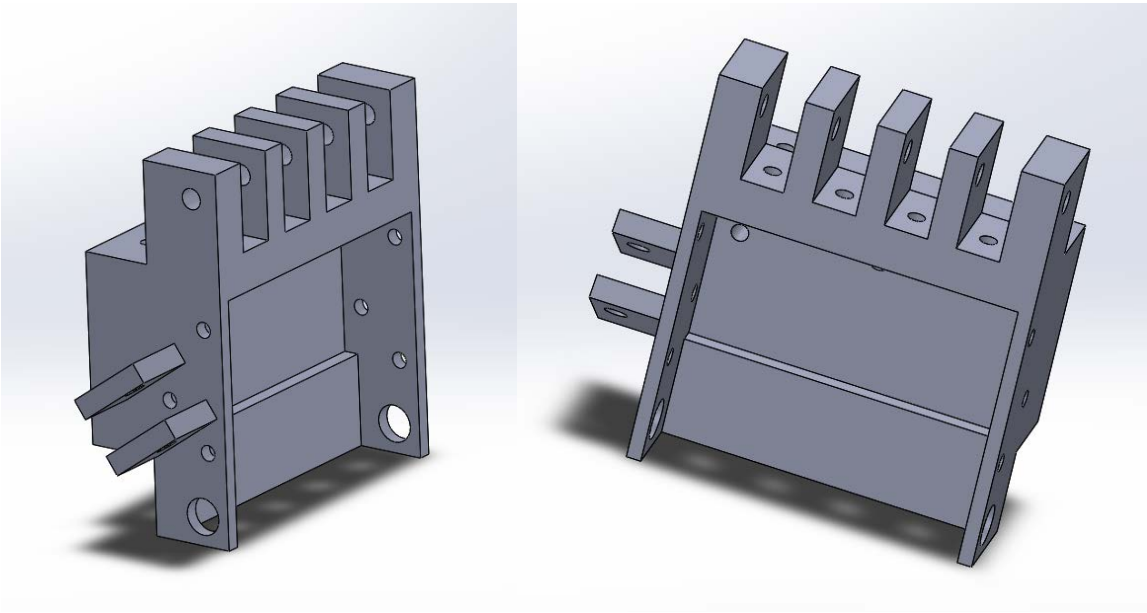


Fig. 53 Rediseño de la mano en SolidWorks

13. Mano

Siguiendo el mismo procedimiento que en las piezas anteriores se procede a diseñar los moldes de las piezas de la mano.

Molde lateral de la mano

Diseño 2D:

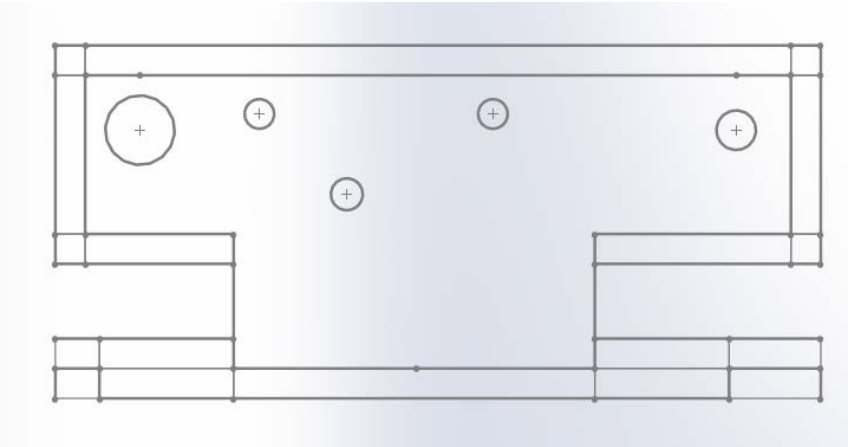


Fig. 54 Diseño 2D en SolidWorks

Molde con lata:

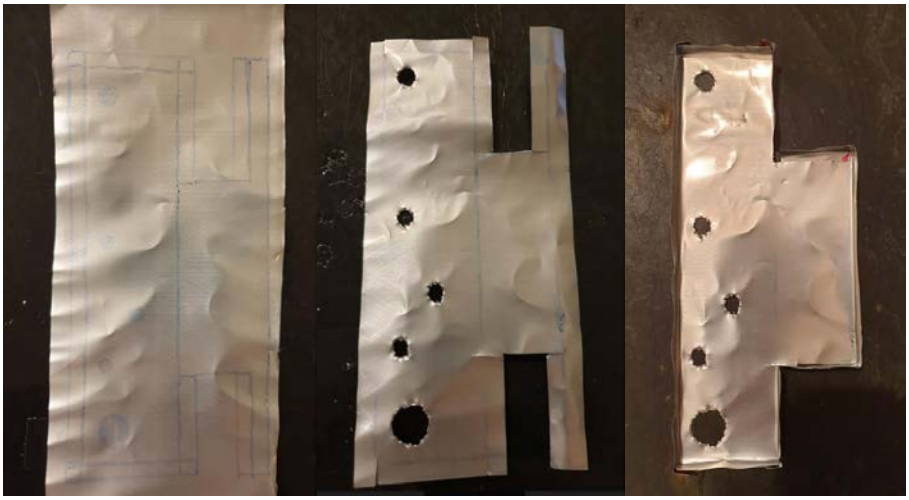


Fig. 55 Fabricación del molde con lata

Laterales de la mano acabados:

Fig. 56 Piezas laterales de la mano terminadas

Molde nudillos

Diseño 2D:

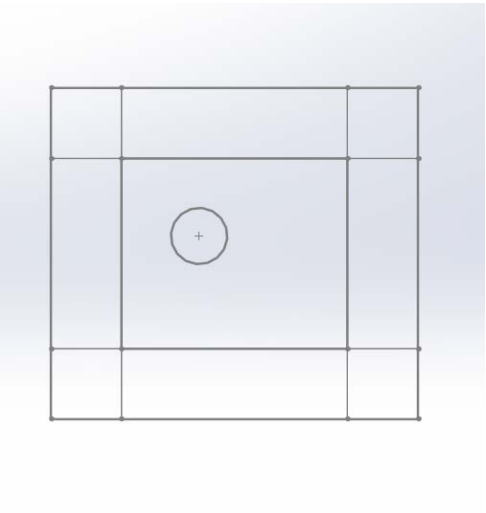


Fig. 57 Diseño 2D en SolidWorks

Molde con lata:

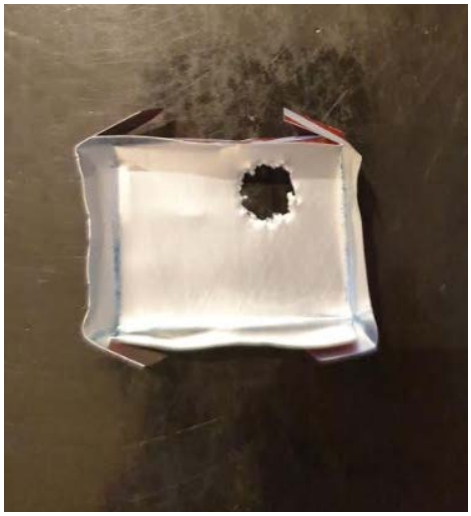


Fig. 58 Molde acabado en aluminio

Pieza final:

Fig. 59 Pieza del nudillo acabada

Nudillo pulgar (mismo procedimiento)

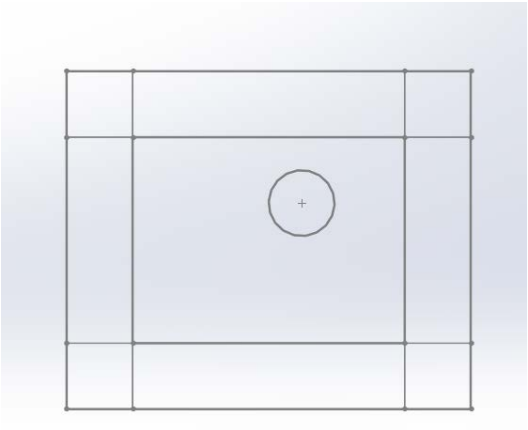


Fig. 60 Diseño 2D en SolidWorks

Molde base de los nudillos

Diseño 2D:

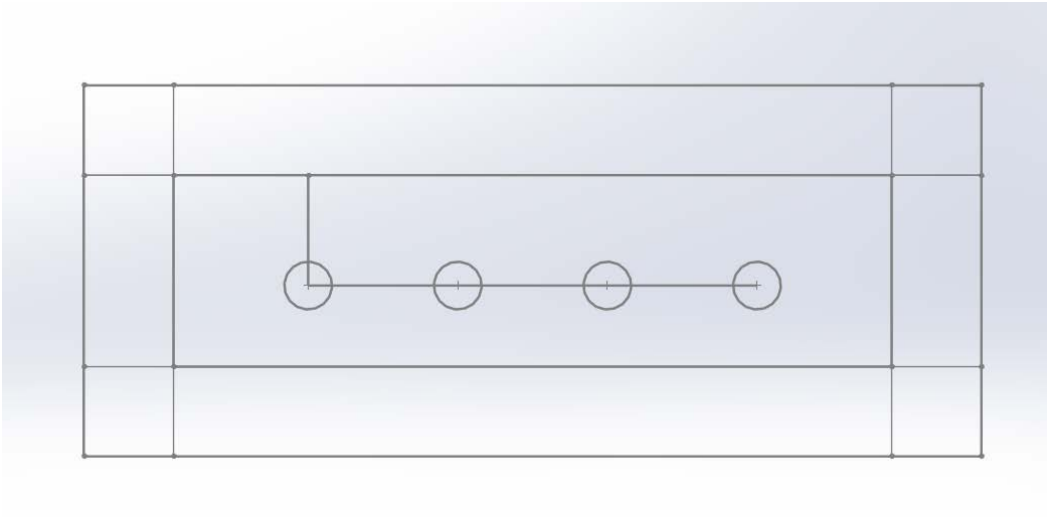


Fig. 61 Diseño 2D en SolidWorks

Molde con lata:

Fig. 62 Fabricación del molde con lata

Pieza acabada:

Fig. 63 Pieza de la base de los nudillos acabada

Molde palma de la mano

Diseño 2D:

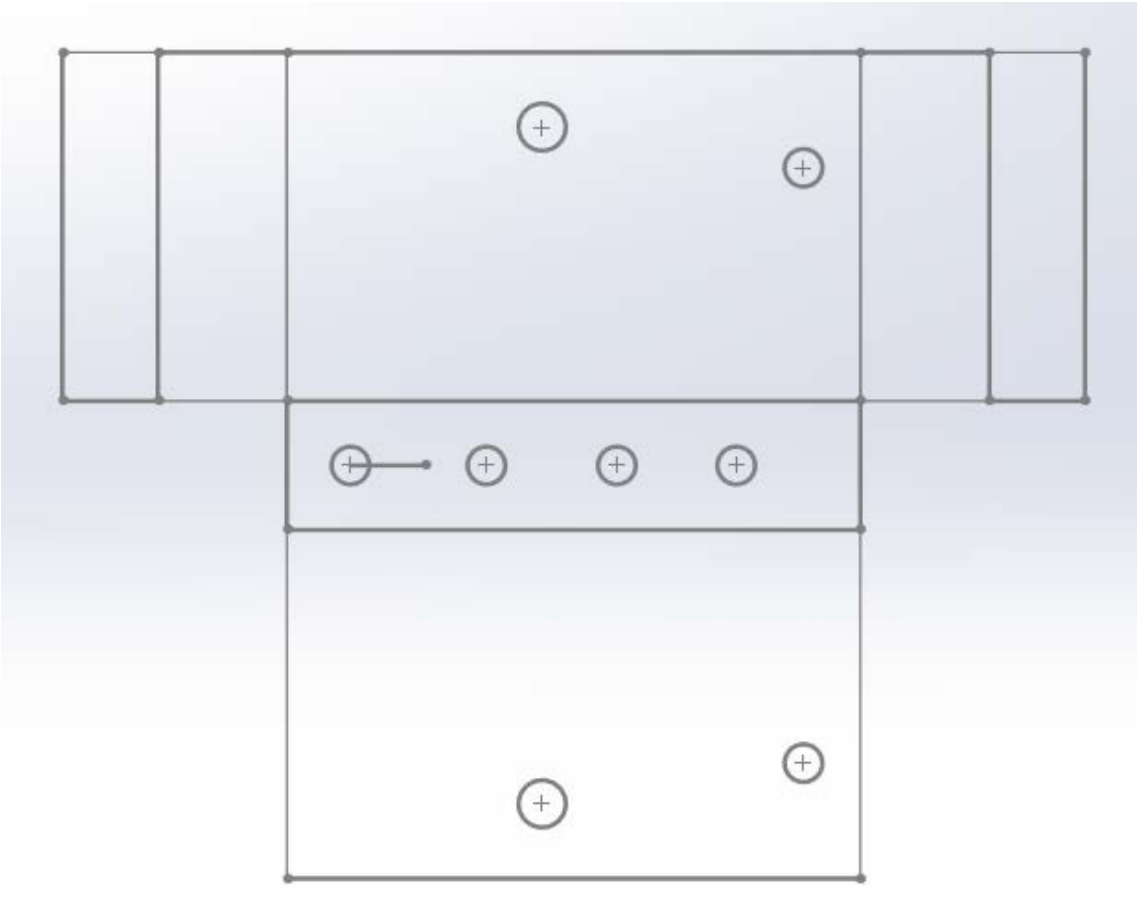


Fig. 64 Diseño 2D en SolidWorks

Molde con lata:

Este molde es uno de los dos de toda la prótesis que necesita más de una lata para efectuarlo. Se unirán tres láminas de lata entrelazándolas entre sí como se muestra en las siguientes imágenes.

Fig. 65 Fabricación del molde con trozo de lata

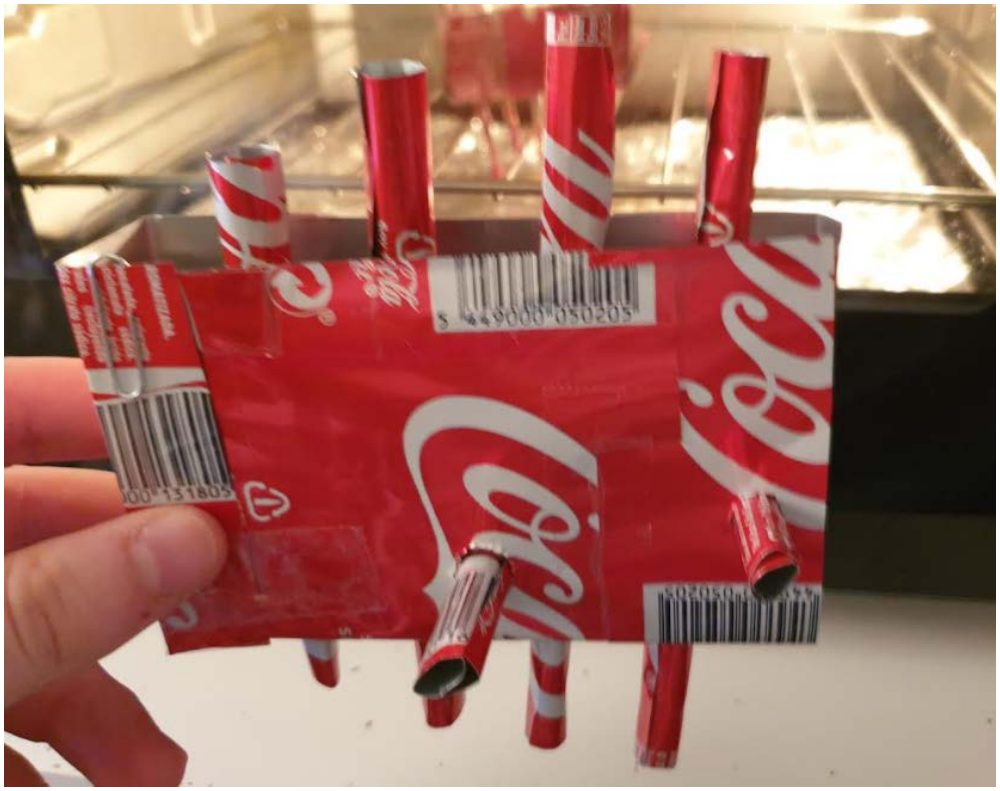


Fig. 66 Molde terminado

Pieza acabada:

Fig. 67 Pieza palma de la mano acabada

Molde parte inferior de la mano

Diseño 2D:

Fig. 68 Diseño 2D en SolidWorks

Molde con lata:

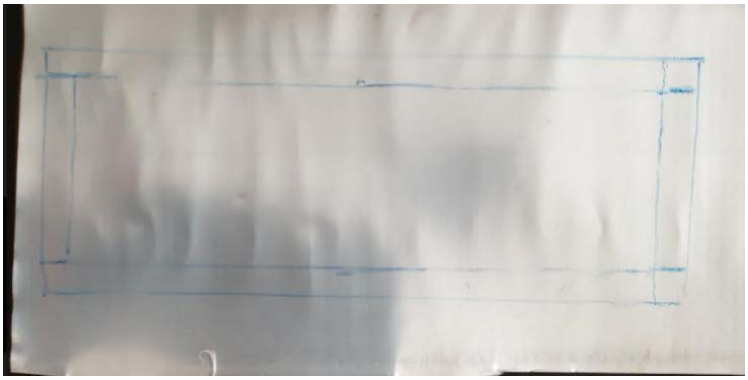


Fig. 69 Fabricación del molde y pieza acabada

14. Brazo

Parte trasera brazo

Diseño 2D:

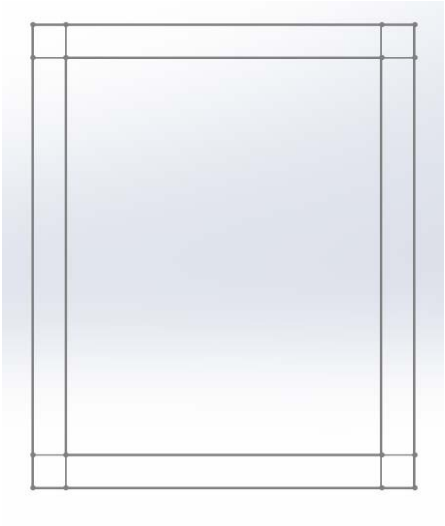


Fig. 70 Diseño 2D en SolidWorks

Molde con lata:

Se unirán 2 láminas de lata para efectuar este molde.

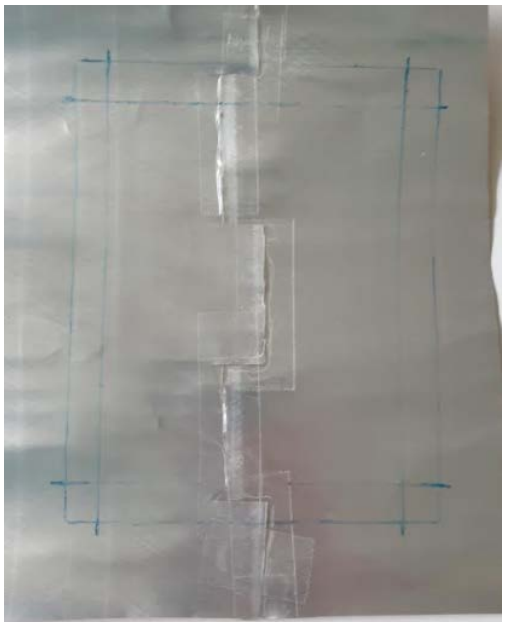


Fig. 71 Unión de láminas de aluminio

Para esta pieza se han derretido directamente los tapones lo cual ahorra mucho tiempo y además se puede conseguir una pieza del mismo color fácilmente lo cual puede ser interesante en cuanto a la estética final de la prótesis.

Fig. 72 Moldes acabados en el horno

Pieza acabada:

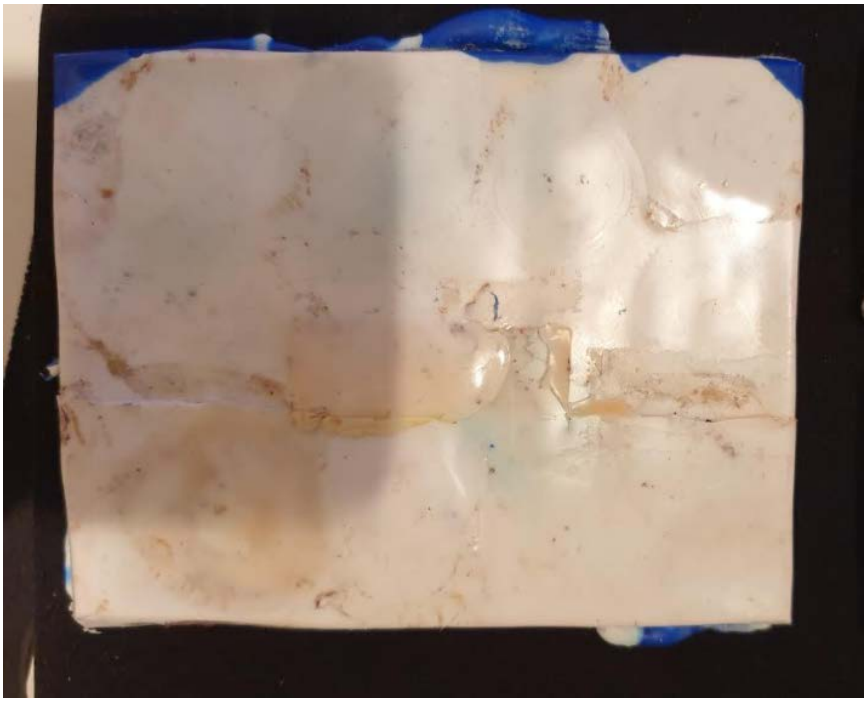


Fig. 73 Pieza trasera del brazo acabada

Laterales del brazo

Diseño 2D:

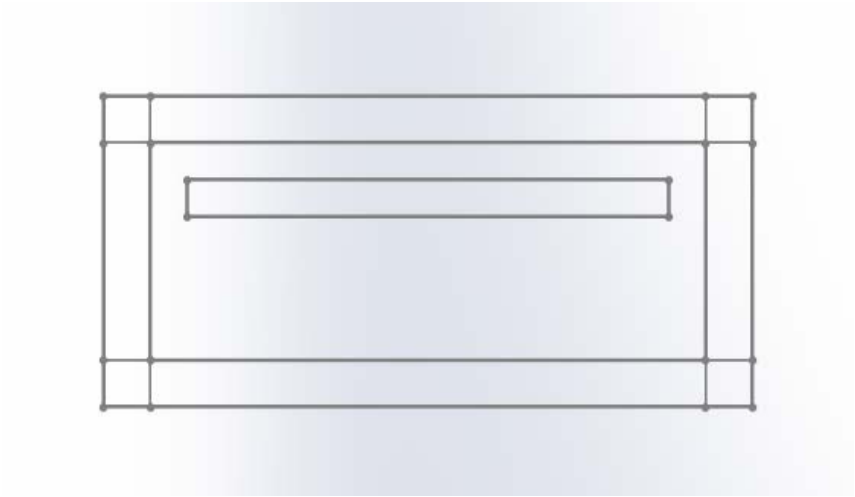


Fig. 74 Diseño 2D en SolidWorks

Molde con lata:

Fig. 75 Dibujo del molde sobre lámina de lata

Proceso de fundición con tapones enteros:

Fig. 76 Moldes con tapones enteros fundiéndose en el horno

Piezas acabadas:

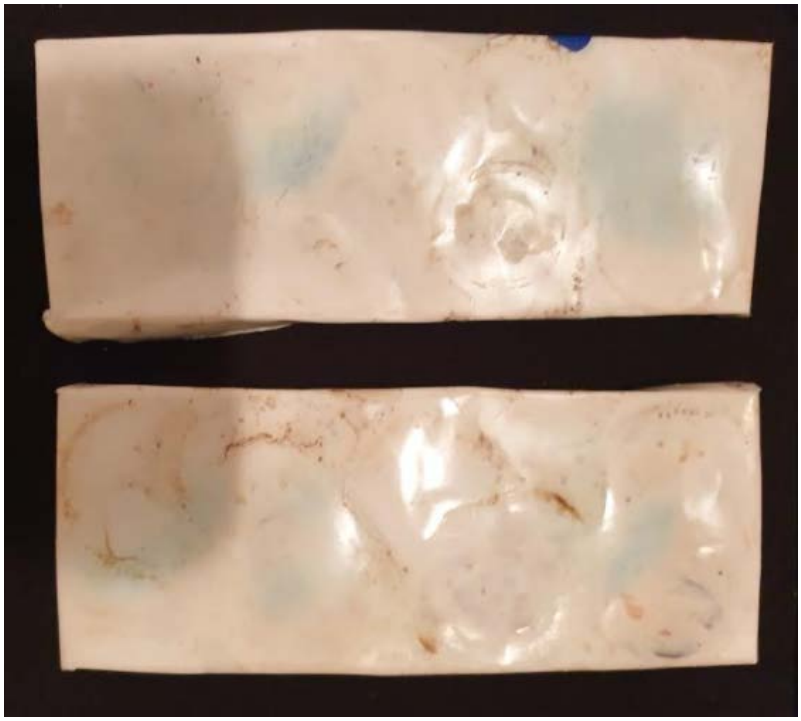


Fig. 77 Piezas laterales del brazo acabadas

Anclaje cuerdas al brazo

Diseño 2D:

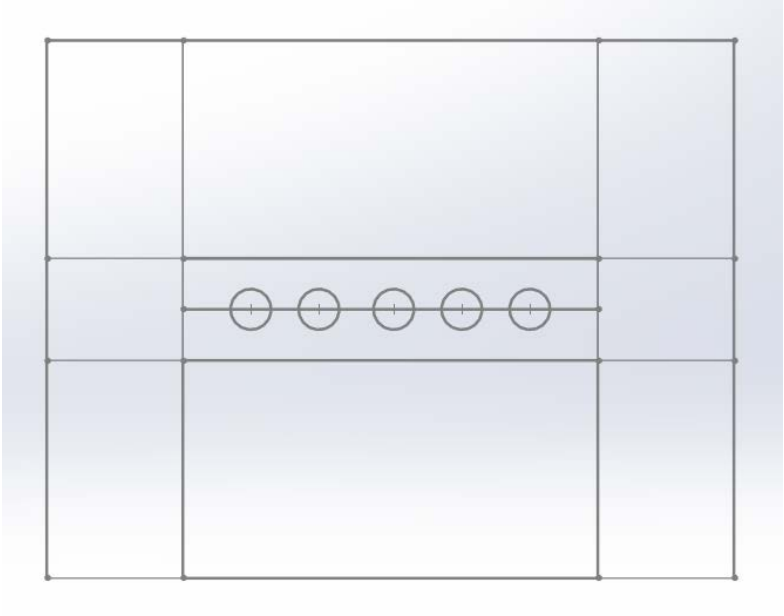


Fig. 78 Diseño 2D en SolidWorks

Molde con lata:

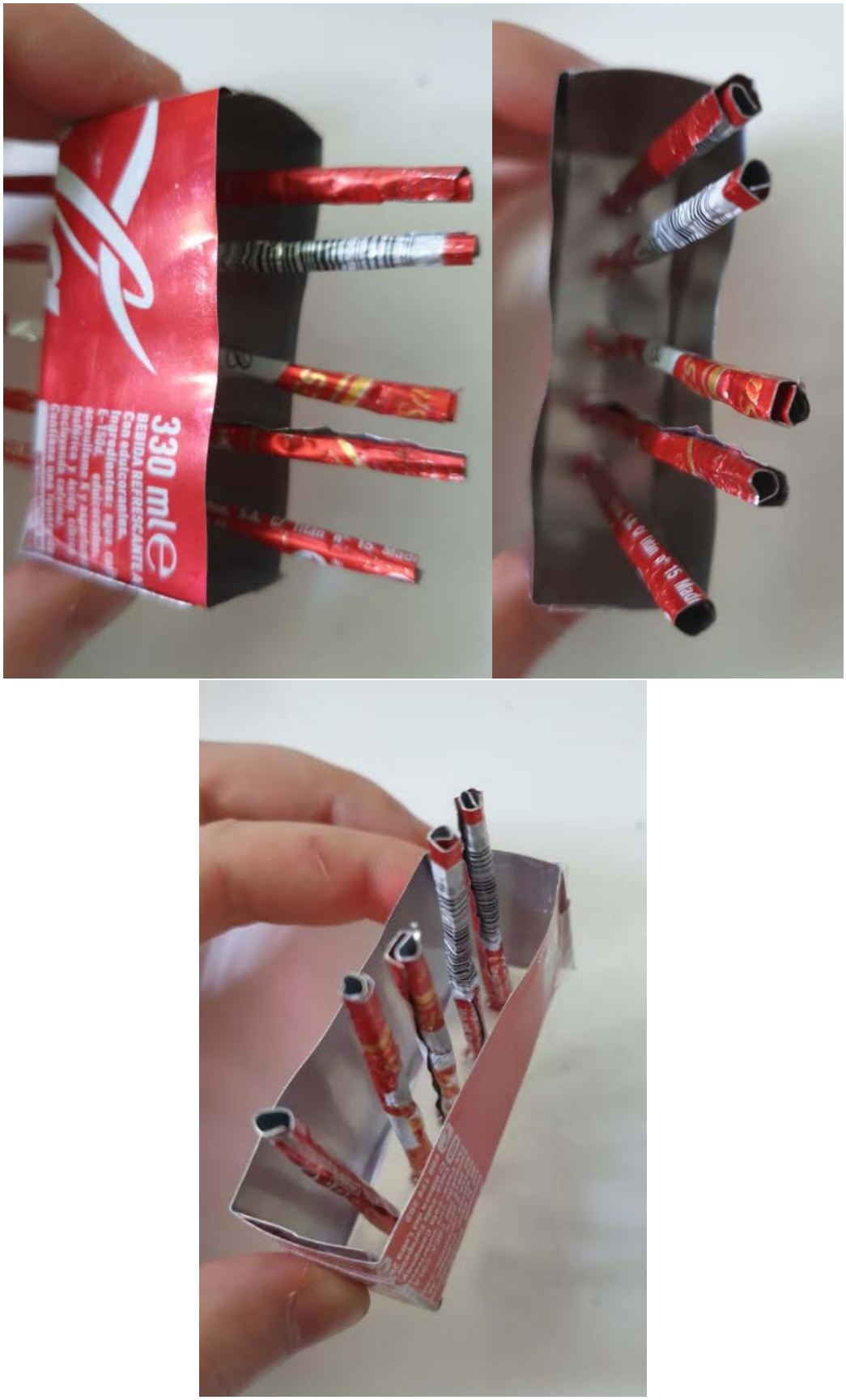


Fig. 79 Molde del anclaje de cuerdas al brazo acabad

Proceso de fundición:

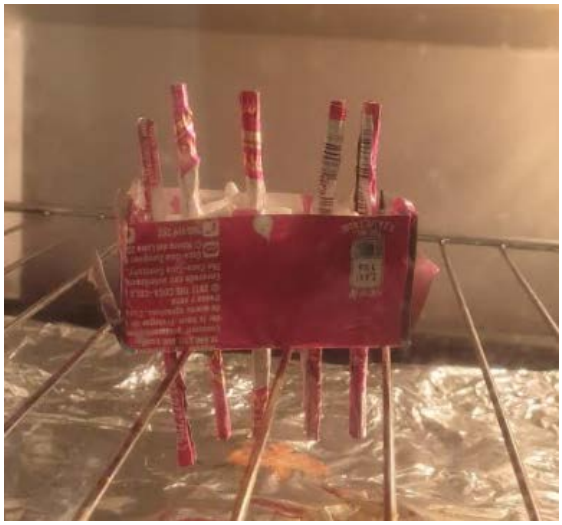


Fig. 80 Elaboración de la pieza en el horno

Pieza acabada:

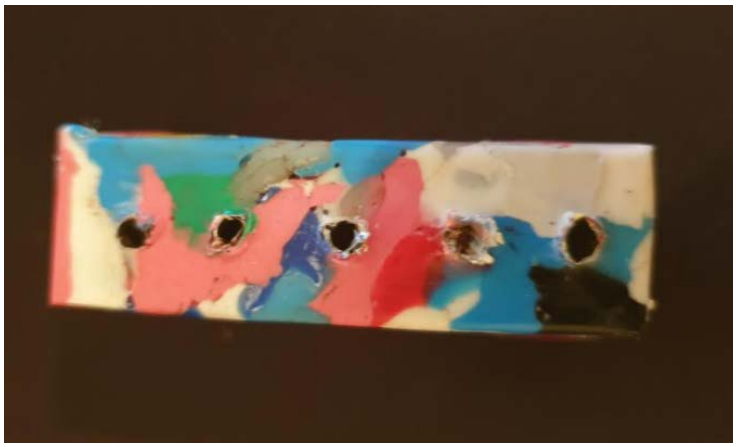


Fig. 81 Pieza del anclaje de cuerdas al brazo acabada

Anclaje brazo a mano

Diseño 2D:

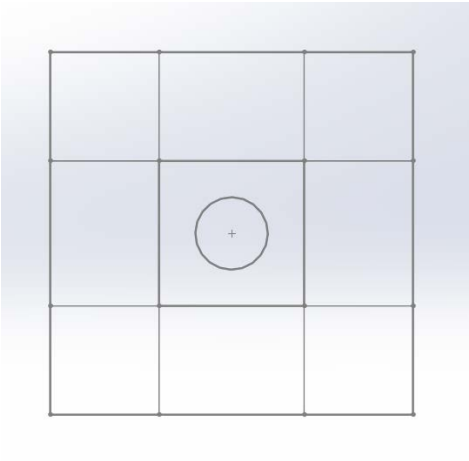


Fig. 82 Diseño 2D en SolidWorks

Molde con lata y pieza:

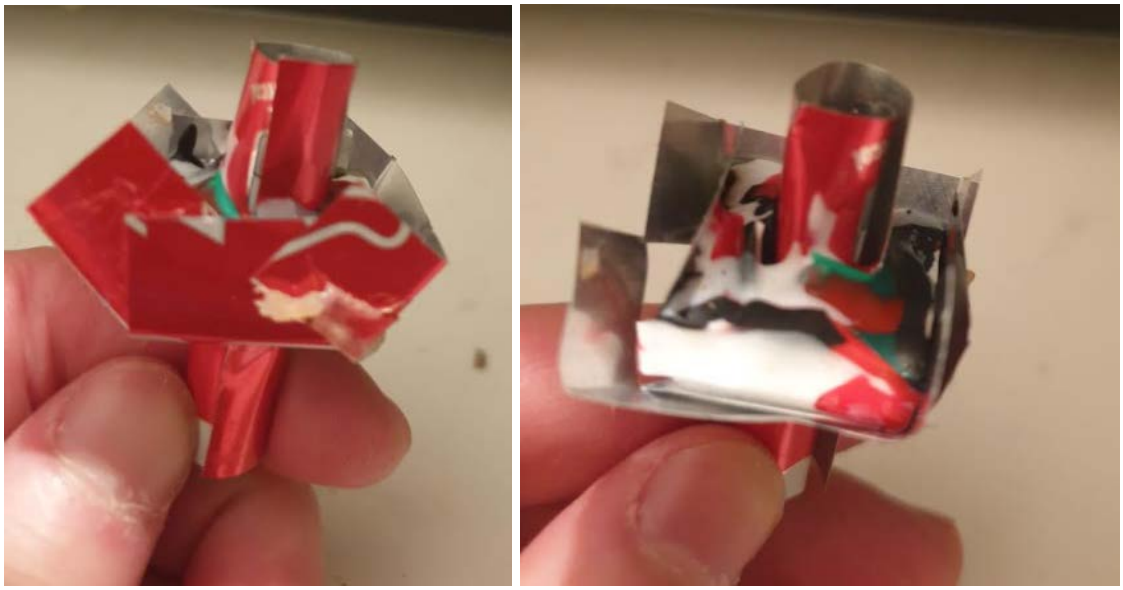


Fig. 83 Molde con pieza acabada en su interior

15. Mitad del dedo rediseñada

Al haber eliminado los topes en todas las piezas, no tiene sentido mantener el saliente de la pieza de la mitad del dedo por lo que se decide rediseñar la pieza. Un gran beneficio es la simplicidad añadida y además será más difícil que el mecanismo falle debido a roces entre piezas no deseados.

Rediseño en 2D:

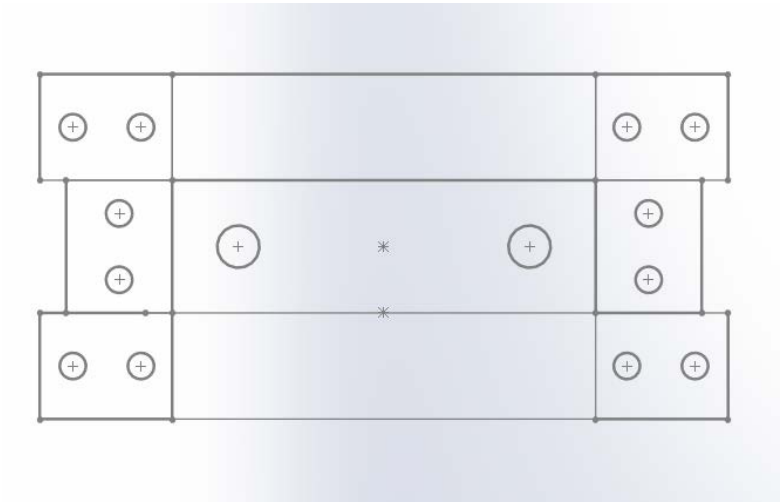


Fig. 84 Rediseño 2D en SolidWorks

Diseño en papel y sobre lata:

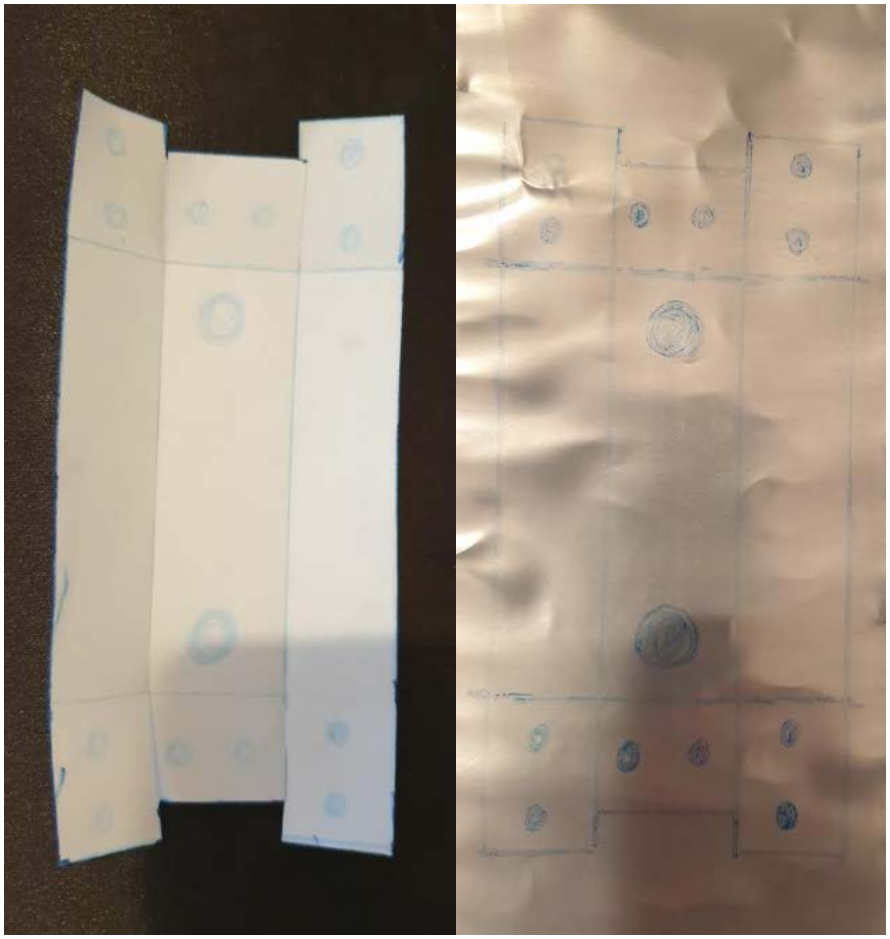


Fig. 85 Diseño 2D sobre papel y lata

Molde con lata acabado:

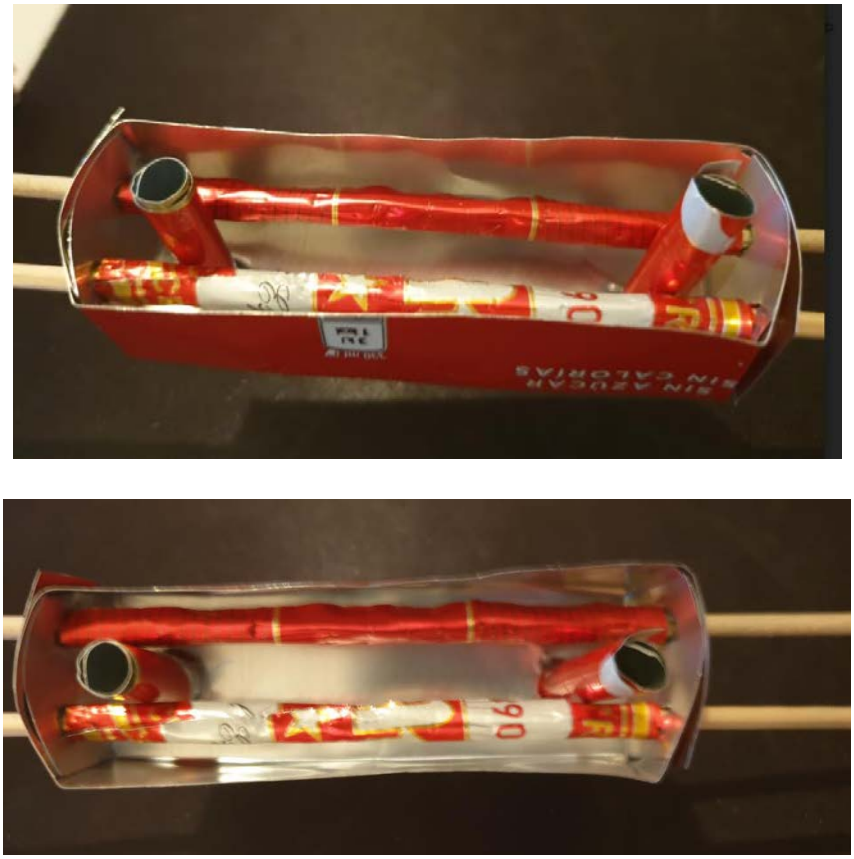


Fig. 86 Molde de la mitad del dedo acabado

Pieza acabada:

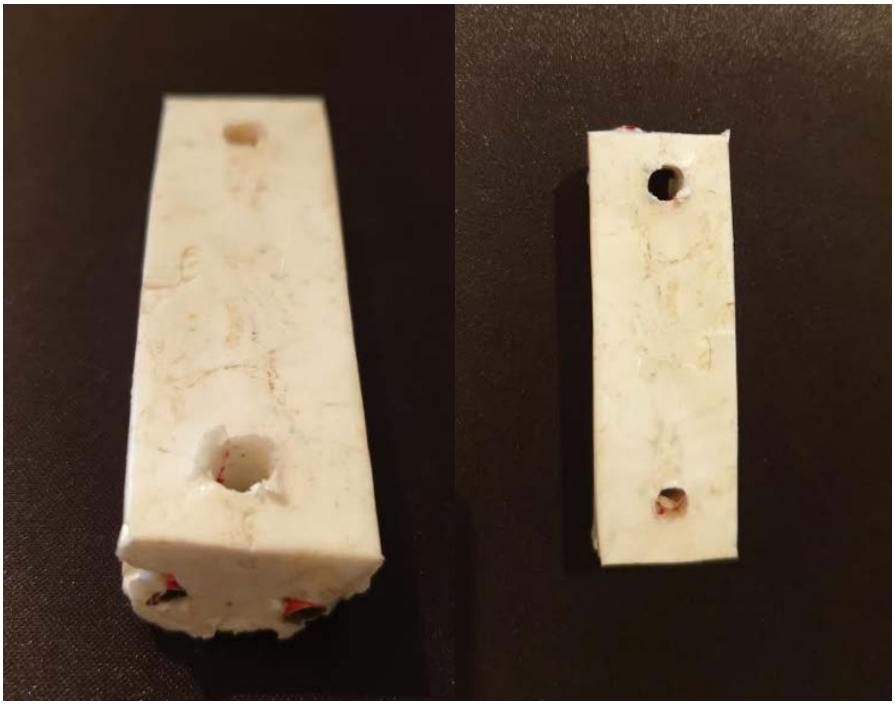


Fig. 87 Pieza de la mitad del dedo acabada

16. Unión punta del dedo

Existen dos opciones a la hora de unir las piezas. La primera es mantener una de las piezas caliente en el horno y presionar otra pieza sólida sobre ésta. Luego se deja calentar la unión brevemente en el horno para que se unan. La segunda es ayudarse con un soldador eléctrico. Evidentemente el soldador facilita mucho la tarea y permite conseguir retocar las piezas con bastante detalle. Sin embargo, la idea principal de este proyecto es que la prótesis se pueda fabricar sin apenas herramientas por lo que será este método el que se comente en más profundidad ya que no todo el mundo tiene un soldador a mano. A pesar de ello, en el prototipo final obtenido en este proyecto se ha utilizado el soldador para ahorrar tiempo y corregir fallos de fabricación. Las uniones en el horno requieren más tiempo y habilidad, pero se puede obtener el resultado esperado si se siguen los pasos con cuidado y paciencia.

Para el caso de la unión del dedo, se calentará uno de los laterales en el horno dentro de su molde (para evitar que se desparrame y pierda la forma) y se presionará la pieza de la punta del dedo suavemente sobre el lateral del dedo. Seguidamente se hace lo mismo con la pieza de la mitad del dedo. Las uniones deben estar en el horno no más de 3 minutos o las dos piezas que acabamos de pegar empezarán a derretirse y se deformarán. Se sacan del horno y se dejan enfriar con algo de peso encima para evitar que el dedo quede plano y no se doble.

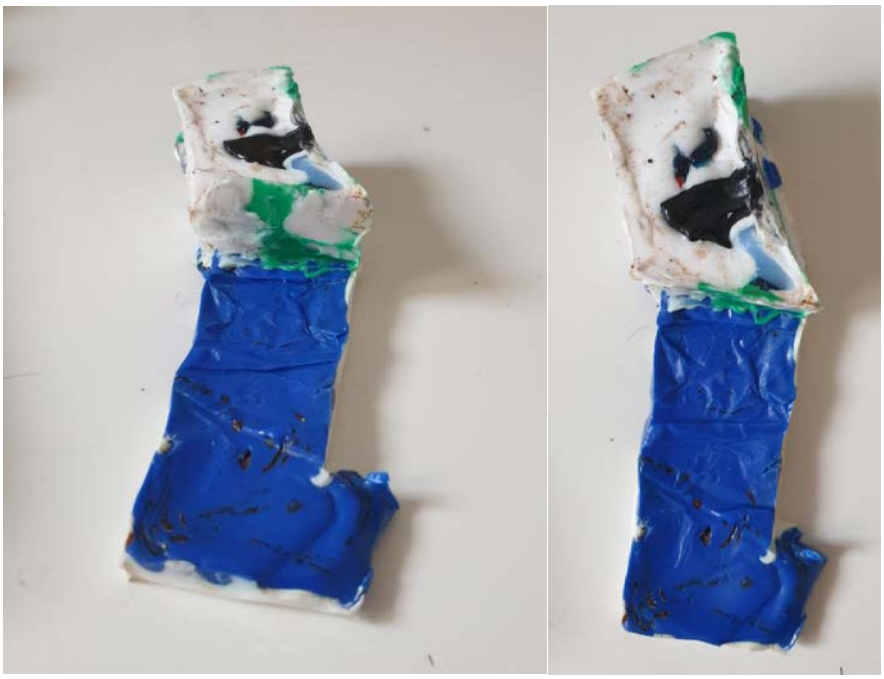


Fig. 88 Unión de la punta del dedo a lateral del dedo

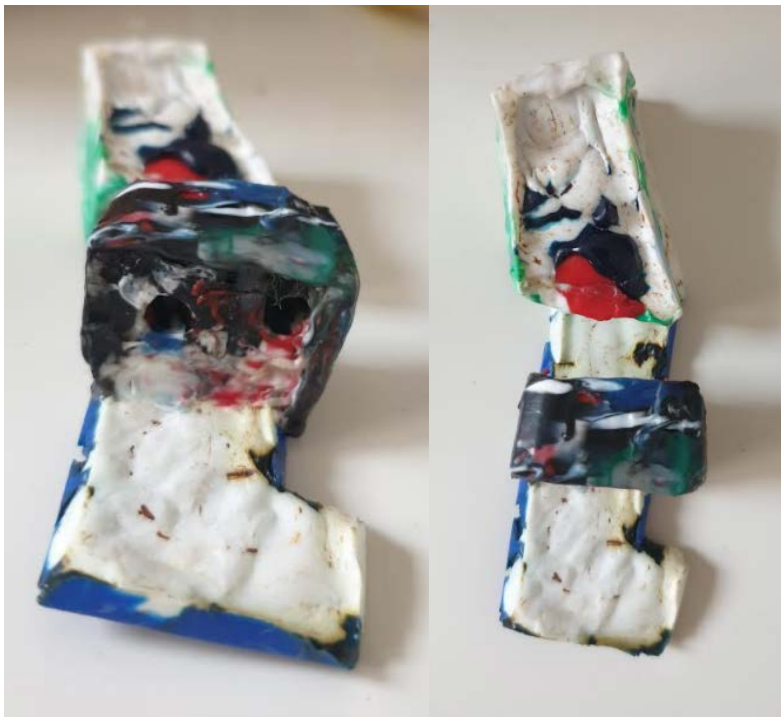


Fig. 89 Unión de la mitad de la punta del dedo al lateral del dedo

Se calienta el otro lateral del dedo y una vez esté derretido en el horno, se sigue el procedimiento previo para unir el primer conjunto que se unió al lateral del dedo y acabar la pieza.

Fig. 90 Pieza de la punta del dedo acabada

17. Unión mano

Para comenzar se unirán los nudillos a la base de los nudillos. La pieza de la base de los nudillos será la que se caliente en el horno dentro de su molde y se unirán los nudillos a ella.

Fig. 91 Proceso de unión de los nudillos a la base de los nudillos

A continuación, se calienta uno de los laterales de la mano y se une a esta última pieza. Hay que intentar mantener un ángulo de 90 grados entre el lateral de la mano y la base de los nudillos. Después de dejar enfriar esta unión, se unirá a la pieza de la palma de la mano (que será la que se caliente) y a su vez la parte baja de la mano. Finalmente se unirá todo este conjunto al otro lateral de la mano. Aprovecharemos cuando el lateral final esté caliente para unir los dos nudillos del dedo pulgar.

Fig. 92 Unión piezas de la mano

Fig. 93 Unión de las piezas de la mano

Fig. 94 Pieza de la mano acabada

18. Unión brazo

De forma similar a la unión de la mano, primero se calentará el lateral del brazo y se unirá a la parte trasera. Luego este conjunto enfriado se unirá al lateral restante. Finalmente se unirán los anclajes y la pieza donde se tensarán las cuerdas de todos los dedos.

Fig. 95 Pieza del brazo acabada

Aquellos que tengan acceso a un soldador eléctrico podrán hacer las piezas del lateral del brazo sin ranuras, y hacerlas a mano al final del montaje del brazo. También pueden utilizar el soldador para los anclajes y la pieza tensora de cuerdas ya que es más fácil que unirlas mediante calor.

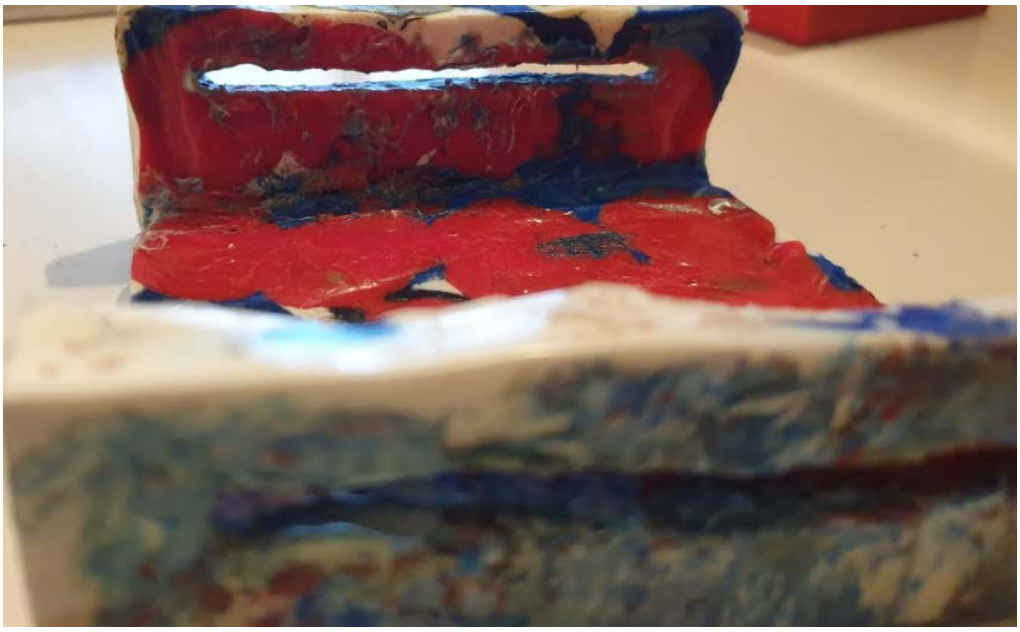


Fig. 96 Pieza del brazo con ranuras para la sujeción del brazo con cuerdas

19. Montaje de la mano

Se hace pasar una cuerda y una cuerda elástica a través de la mitad del dedo y a través de a punta del dedo. La cuerda elástica es la que irá en la parte trasera del dedo ya que será la encargada de mantener el dedo en posición vertical. La cuerda rígida irá en la parte delantera del dedo ya que se tirará de ella para provocar el movimiento de flexión de la mano y los dedos.

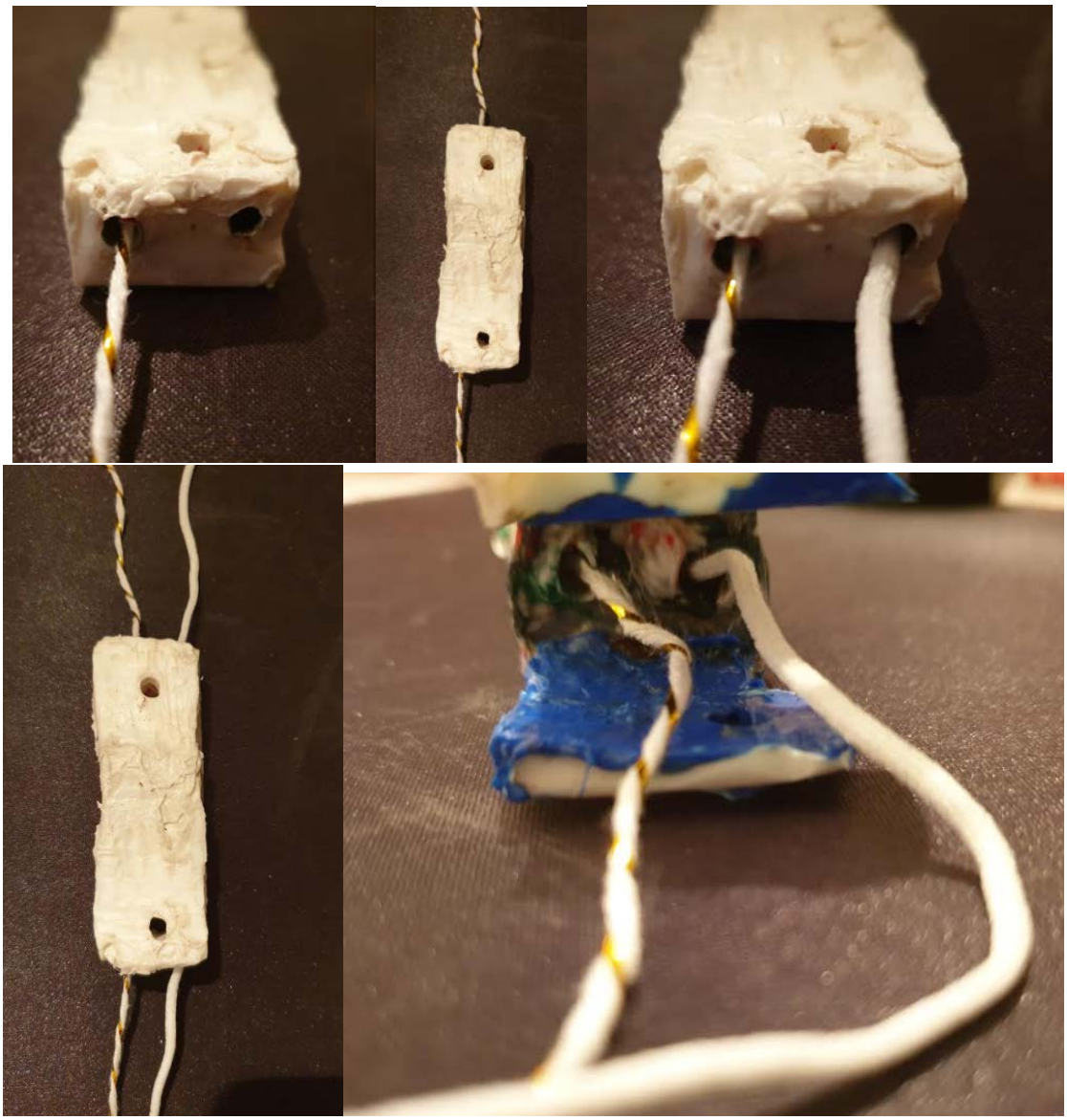


Fig. 97 Inserción de las cuerdas a través de la mitad del dedo

Ambas cuerdas se atarán a la punta del dedo mediante un nudo llano que rodee la pieza con los dos agujeros.

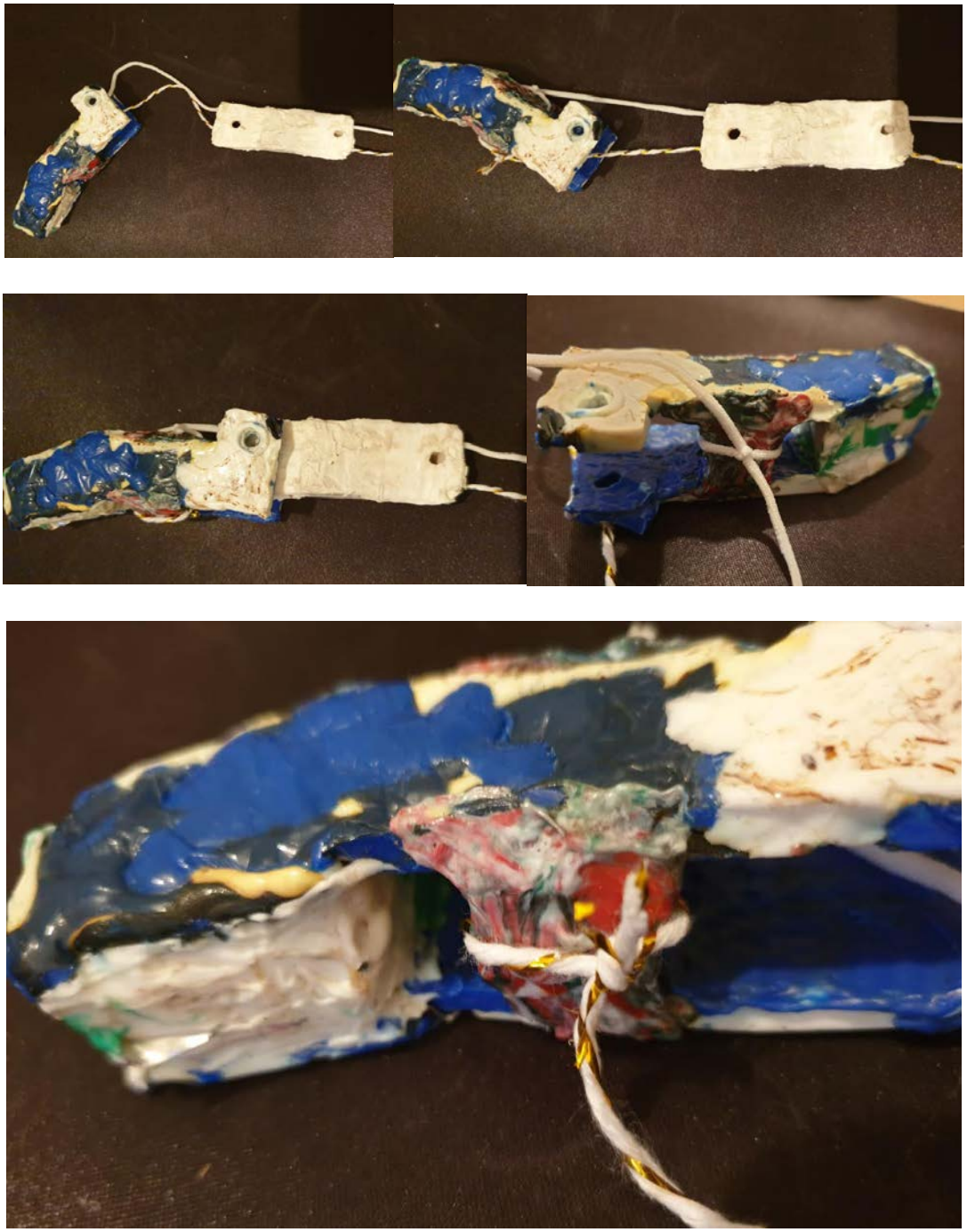


Fig. 98 Unión con cuerdas de la mitad del dedo y la punta del dedo

Todas las cuerdas elásticas se introducen por los agujeros correspondientes en la pieza de la base de los nudillos y seguidamente se hacen pasar por el agujero central de la palma de la mano. La cuerda del dedo gordo tiene su propio agujero en un lateral de la palma de la mano.

Fig. 99 Inserción de cuerdas por el agujero central de la palma de la mano

Las cuerdas rígidas pasarán por los agujeros de la parte posterior de la mano (4) salvo la del dedo gordo que utilizará su propio agujero al igual que la cuerda elástica. Se utilizará provisionalmente un palo para unir el brazo a la mano y ayudarnos a hacer pasar cada cuerda rígida por su orificio correspondiente en la pieza tensora del brazo.

Fig. 100 Inserción de cuerdas hasta el anclaje del brazo

El tensado de las cuerdas es de gran importancia para el correcto funcionamiento de la prótesis y se hará por prueba y error una vez esté toda montada. Se pueden juntar todas las cuerdas en único nudo como se muestra a continuación o hacer un nudo individual para cada cuerda.

Fig. 101 Tensado de cuerdas rígidas en el anclaje del brazo

Todas las cuerdas elásticas se unirán en un nudo justo a la salida del orificio central de la parte de la palma de la mano. Es preferible no hacer el nudo definitivo hasta el final del montaje porque habrá que hacer ajustes así que utilizamos un palo provisionalmente para no tener que deshacer el nudo cada vez que lo ajustemos.

Fig. 102 Unión cuerdas elásticas y dedo gordo

Para las articulaciones de todas las piezas se utilizarán trozos de lata enrollados. Para unir todas las mitades de los dedos a los nudillos se puede utilizar un único rollo largo de lata. Este rollo quedará fijado automáticamente a los nudillos laterales cuando el rollo se expanda y quedará bien sujeto. Para las articulaciones de las puntas de los dedos se utilizará un pequeño rollo de lata que sobresalga alrededor de 1cm por cada lado de la unión. Una vez introducido en el agujero, los dos salientes a cada lado se doblarán hacia arriba para evitar que estos rollos se salgan. Se hará lo mismo, pero con un rollo más grande para cada anclaje del brazo a la mano.

Fig. 103 Inserción de articulaciones con cilindros de latas

Ahora que la prótesis está montada sólo queda ajustar la tensión de todas las cuerdas comprobando su funcionamiento en la posición de flexión y en la de mano relajada.

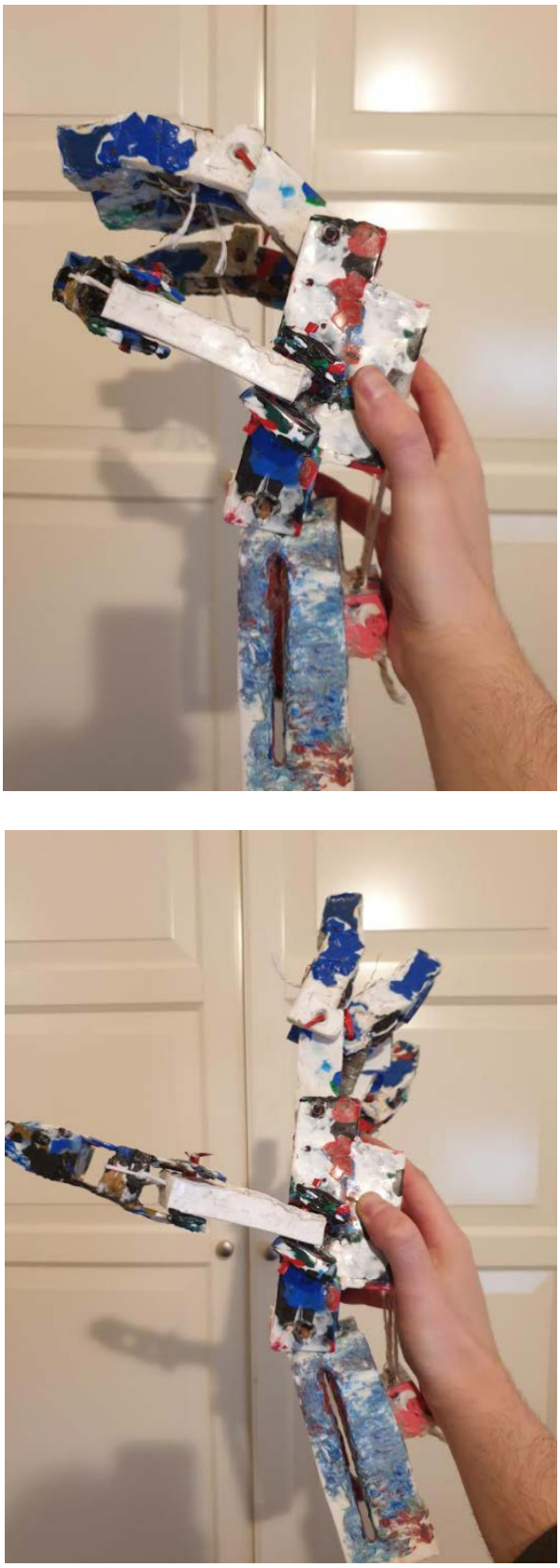


Fig. 104 Movimiento de flexión y extensión de la prótesis

La prótesis quedará bien sujeta al brazo del usuario mediante una cuerda que atraviese las ranuras laterales de la pieza del brazo. En este caso se ha probado utilizando unos cordones de zapatos.

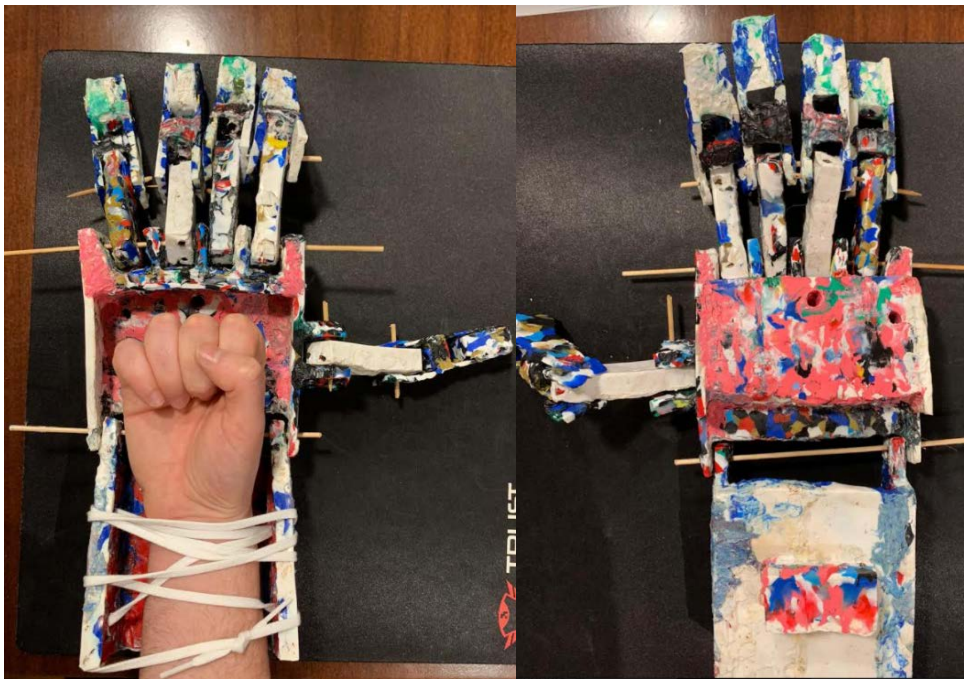


Fig. 105 Sujeción de la prótesis al brazo y reverso de la prótesis

Para mover la mano se utilizarán cuerdas que atraviesen los agujeros de las piezas laterales de la palma de la mano que irán por encima del muñón. En este caso, la prótesis ha sido diseñada para que quepa una mano que utilice el puño como simulación de un muñón por lo que una persona discapacitada que quiera fabricarse la prótesis deberá escalar los planos de los moldes a sus medidas anatómicas.

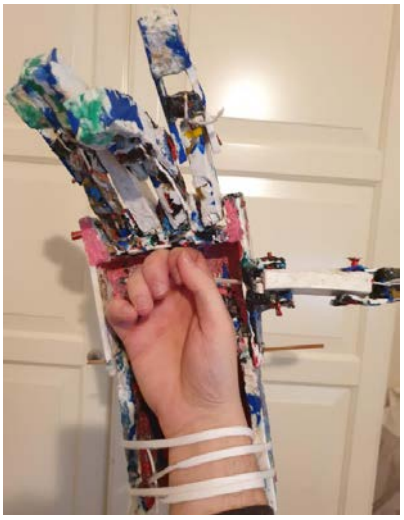


Fig. 106 Movimiento de la prótesis con la muñeca

20. Resultados

La prótesis fabricada en este proyecto se caracteriza por una gran robustez. Las piezas son duras y resistentes y no se rompen con facilidad. La prótesis se adapta muy bien a la mano gracias a que permite que se tensen las cuerdas adecuadamente al brazo y al puño. La prótesis es funcional y efectúa el movimiento de flexión y extensión, aunque de manera poco efectiva. El movimiento no es fluido ni preciso y esto se debe principalmente a lo pesada que es la prótesis. Se ha conseguido agarrar algún objeto con ella, pero no en cualquier postura, por lo que su utilidad para esta tarea es bastante baja. En cuanto al método de fabricación, se han conseguido realizar las piezas únicamente utilizando unas tijeras. Los moldes son fáciles de fabricar para cualquier persona y el método está explicado para que incluso un niño consiga fabricarse su propia prótesis. El método de fabricación tiene la ventaja de tener un coste extremadamente bajo y a pesar de no poder obtener piezas precisas, estas son resistentes y cumplen su función perfectamente.

21. Conclusiones y análisis de los resultados

Conclusiones sobre los diseños y la metodología

En este proyecto se ha diseñado una prótesis de mano con materiales reciclables **(OBJETIVO 1)**. Además, se ha elaborado un método de fabricación que también utiliza únicamente materiales reciclables y accesibles como latas y tapones de plástico **(OBJETIVO 2).** Para fabricar la prótesis se han utilizado herramientas rudimentarias y un método fácil de seguir y entender para cualquier persona, lo cual les permite fabricar su prótesis sin ayuda de nadie **(OBJETIVO 3)**. Finalmente, se ha conseguido que la prótesis se adapte correctamente al brazo del usuario y que efectúe ciertos movimientos a pesar de que sean poco precisos **(OBJETIVO 4).**

Conclusiones sobre los resultados

Para la elaboración de la prótesis de la que es objeto el siguiente informe, se han empleado una media de 300 tapones de polietileno de alta densidad, con lo que se ha obtenido un prototipo de 800g de peso. Asimismo, la elaboración de la totalidad de los moldes ha requerido de 20 latas de aluminio de 355ml. Independientemente de la posibilidad de obtener la materia prima de puntos de reciclaje, el coste aproximado de efectuar la prótesis mediante la adquisición directa de los tapones y latas en base al valor de mercado de los materiales sería de unos 2 euros, lo que refleja la idoneidad del proceso para abastecer a zonas que estén inmersas en conflictos sociales o bélicos. Sin embargo, se incide en que el proyecto se pueda llevar a cabo sin coste alguno y esta ha sido la mentalidad durante su desarrollo.

En cuanto a los resultados mecánicos de la prótesis, se ha obtenido un prototipo de gran robustez que se ha comprobado resistente a impactos, a la abrasión y a la corrosión lo cual es

muy favorable para poder implantar su uso en distintos puntos geográficos y para ampliar la durabilidad y fiabilidad del modelo. Sin embargo, el prototipo obtenido, dadas sus dimensiones y su diseño, excede los valores óptimos de peso que permitan su manejabilidad y comodidad. Se ha obtenido un modelo con el que es posible realizar los movimientos básicos para los que se diseñó, pero la fluidez de los mismos se ve afectada por las tolerancias geométricas y dimensionales que se pueden alcanzar utilizando un método de fabricación tan rudimentario como el que se ha efectuado.

Las conclusiones relativas al proceso de fabricación son que es una prótesis fácilmente replicable, con cabida para la optimización del proceso productivo mediante la reutilización de los moldes de aluminio (especialmente los de los dedos) y la posibilidad de emplear tapones enteros para ciertas piezas sin necesidad de cortarlos. A pesar de ello, la mayoría de las piezas sí que requieren de partir los tapones previamente, lo cual es una tarea ardua y que consume la mayor parte del tiempo de fabricación de la prótesis. El proceso de fabricación se verá muy afectado por la habilidad fabricación de la prótesis. El proceso dependerá en gran medida de la habilidad que tenga la persona que efectúe la prótesis, por lo que el resultado final será óptimo siempre que se trabaje con la mayor precisión posible.

Finalmente, se incide sobre los excelentes resultados obtenidos en cuanto a la replicabilidad del proceso, el cumplimiento de la función para la que fue diseñada la prótesis, la sostenibilidad implicada en el conjunto del proceso y el producto final obtenido, y la adaptabilidad y comodidad del modelo en la unión al brazo.

22. Líneas futuras

En primer lugar, se comentarán los aspectos a seguir desarrollando de la prótesis. La prótesis ha sido diseñada para que se pueda probar su funcionamiento con una mano normal, utilizando el puño como simulación de un muñón. Por tanto, sería conveniente fabricar una prótesis adaptada a las medidas de alguien con discapacidad para poder ver realmente si es útil y cómoda y poder obtener feedback de una persona que la necesite. Como ya se ha comentado anteriormente, los planos de los moldes son escalables y deberían funcionar para alguien con discapacidad simplemente escalando los planos y sin que haga falta cambiar el diseño.

En los procesos de diseño siempre se suelen realizar diversos prototipos y cambios para depurar y mejorar el producto final. El siguiente diseño de la prótesis debería estar enfocado en la reducción de material, ya que la prótesis tiene un peso de unos 800 gramos y es bastante incómodo soportar esa carga. Otro inconveniente del exceso de peso es que dificulta el movimiento del mecanismo. Algunas piezas caen por gravedad haciendo mover la mano cuando no se desea y dificultando la precisión del movimiento. Una vez resuelto el tema del peso se debería mejorar el mecanismo de la mano para que el movimiento sea más preciso y efectivo a la hora de agarrar objetos. Cabe mencionar que la precisión que se puede obtener con este método de fabricación es muy baja y siempre afectará negativamente a los mecanismos. Otro aspecto que analizar es la durabilidad y resistencia mecánica de la prótesis, tanto con simulaciones como con ensayos de desgaste y fatiga a largo plazo.

Un aspecto fundamental en cuanto a las líneas futuras será abordar el proceso de corte y preparación de los tapones. Como se ha mencionado previamente este aspecto es el que más tiempo consume en el proceso de fabricación de la pieza. Sería interesante desarrollar una herramienta que permita llevar a cabo esta tarea y que no requiera de energía eléctrica para mantener un proceso de fabricación sin costes y adaptable a territorios sin grandes recursos.

Continuando con el desarrollo y optimización de la prótesis, un aspecto fundamental a desarrollar será la estética de esta. Para empezar, sería de gran utilidad elaborar un método de lijado o pulido de la prótesis para mejorar su acabado superficial. Seguidamente habría que incorporar la posibilidad de efectuar diseños personalizados sobre ella, lo cual ayudaría especialmente a los niños a normalizar una discapacidad física y a hacer que sea más atractiva de llevar.

23. Estudio económico

En este apartado se llevará a cabo un estudio económico del proyecto para calcular los costes que conllevaría llevarlo a cabo para un ingeniero trabajando como particular.

En primer lugar, se tendrá en cuenta el precio de la licencia de SolidWorks ya que se ha utilizado para realizar todos las piezas y los moldes de la prótesis, así como para simular su funcionamiento. También se ha utilizado para la realización de los planos. El precio de la licencia estándar de SolidWorks es de 6600€ más 1500€ de servicio de suscripción anual. Además, habrá que adquirir un ordenador suficientemente potente para soportar el programa. Las especificaciones que se recomiendan son un procesador Intel Core i7, el sistema operativo Windows 10 de 64-bit, un disco duro SSD con al menos 20GB de espacio libre y una tarjeta gráfica dedicada de gama media como puede ser la NVIDIA Quadro P1000/2000. El precio medio de un ordenador de estas características es de 800€.

En segundo lugar, se deberá tener en cuenta la formación necesaria del ingeniero para el manejo de SolidWorks. Uno de los cursos que proporciona los conocimientos requeridos para el proyecto es la asignatura optativa de cuarto curso de ingeniería en la Universidad Pontificia de Comillas llamada "3D Engineering Design with Dynamic Simulation". Basándonos en el número de créditos de la asignatura, el curso asciende aproximadamente a 600€.

En tercer lugar, se tendrá en cuenta el precio de las latas y tapones necesarios para el proyecto a pesar de que normalmente se obtendrían reciclando y no tendrían coste alguno. Se han utilizado 300 tapones de plástico y 20 latas de aluminio. Como ya se ha comentado en las conclusiones del proyecto, el coste de los materiales sería aproximadamente de 2€.

En cuarto lugar, se tendrá en cuenta el precio del horno utilizado para elaborar las piezas. Se ha utilizado un horno SAIVOD DN-23N5-L con una potencia de 1400W. Su precio es de 65€.

En quinto lugar, se debe tener en cuenta el coste de la energía eléctrica necesaria para elaborar las piezas en el horno. A día de hoy el precio medio de la electricidad es de 0,13€/kWh. En total se han elaborado 43 piezas tardando en efectuarlas una media de 2h/pieza. Dado que nuestro horno es de 1400W y se va a utilizar 86 horas, el precio de la electricidad será de 15,65€.

Finalmente se debe tener en cuenta las horas que dedica el ingeniero al proyecto. Se estima que el tiempo invertido en el proyecto es de 430 horas. Suponiendo que el coste del ingeniero es de 45€/hora, el coste total del ingeniero será de 19350€.

Dado que el ordenador, la licencia de SolidWorks y el horno van a durar varios años y se pueden utilizar para otros proyectos, habrá que incluir sólo el coste que afecta a las horas dedicadas al proyecto mediante la utilización de la amortización. Para el ordenador y el horno se estimará un uso de 7 y 5 años respectivamente y la licencia de SolidWorks durará 4 años. Se estima que el ordenador será utilizado 2400 horas al año y la licencia de SolidWorks 2000 horas. El horno tendrá un tiempo estimado de uso de 3000 horas al año.

$$Amortización\ (€) = \frac{Coste\ (€)}{Años} * \frac{Horas\ de\ proyecto}{Horas\ de\ utilización\ cada\ año}$$

	Coste	Años	Horas de utilización cada año	Horas de proyecto	Amortización
Ordenador	800 €	7	2.400	430	20,48 €
Horno	65 €	5	3.000	430	1,86 €
Licencia de SolidWorks	12.600 €	4	2.000	430	677,25 €
				TOTAL	**699,59 €**

Por tanto, el coste total del proyecto será:

$$Coste\ del\ proyecto\ (€) = coste\ del\ ingeniero + coste\ del\ curso\ de\ formación + coste\ del\ material + coste\ electricidad + amortización$$

$$Coste\ del\ proyecto\ (€) = 19350 + 600 + 2 + 15{,}65 + 699{,}59 = 20667{,}24€$$

Bibliografía

[1] https://www.esmachina.com/que-es-protesis-de-mano-tipos-y-precios/

[2] http://galerias.bid-dimad.org/octavoencuentro/es/p-01-protesis-mecanica-parcial-para-mano-fabricada-en-impresion-3d/#prettyPhoto

[3] http://imprimalia3d.com/recursosimpresion3d/dise-mec-nico-pr-tesis-mano-multidedo-antropom-rfica-infractuada

[4] https://www.monografias.com/trabajos-pdf5/prototipos-protesis-mano/prototipos-protesis-mano.shtml

[5] https://www.xataka.com/robotica-e-ia/esta-mano-electrica-es-una-protesis-impresa-en-3d-y-ademas-es-de-codigo-abierto

[6] https://investigacion.pucp.edu.pe/grupos/girab/proyecto/protesis-mioelectricas-personalizadas-de-mano-con-retroalimentacion-haptica-empleando-fabricacion-digital-en-filamentos-plastico-pet/

[7] https://bitfab.io/es/blog/protesis-impresion-3d/

[8] https://www.xataka.com/makers/esta-protesis-impresa-en-3d-permitira-a-los-ninos-tener-una-mano-como-la-de-iron-man

[9] https://es.wikipedia.org/wiki/Mano

[10] https://www.elportaldelasalud.com/anatomia-de-la-mano/

[11] https://www.crossfit.com/essentials/movement-about-joints-part-4-the-hand-and-fingers

[12] https://www.crossfit.com/essentials/movement-about-joints-part-3-wrist

[13] https://www.lifeder.com/tipos-de-plasticos/

[14] https://www.asoc-aluminio.es/el-aluminio/propiedades-del-aluminio

[15] https://www.cimworks.es/precios-solidworks/

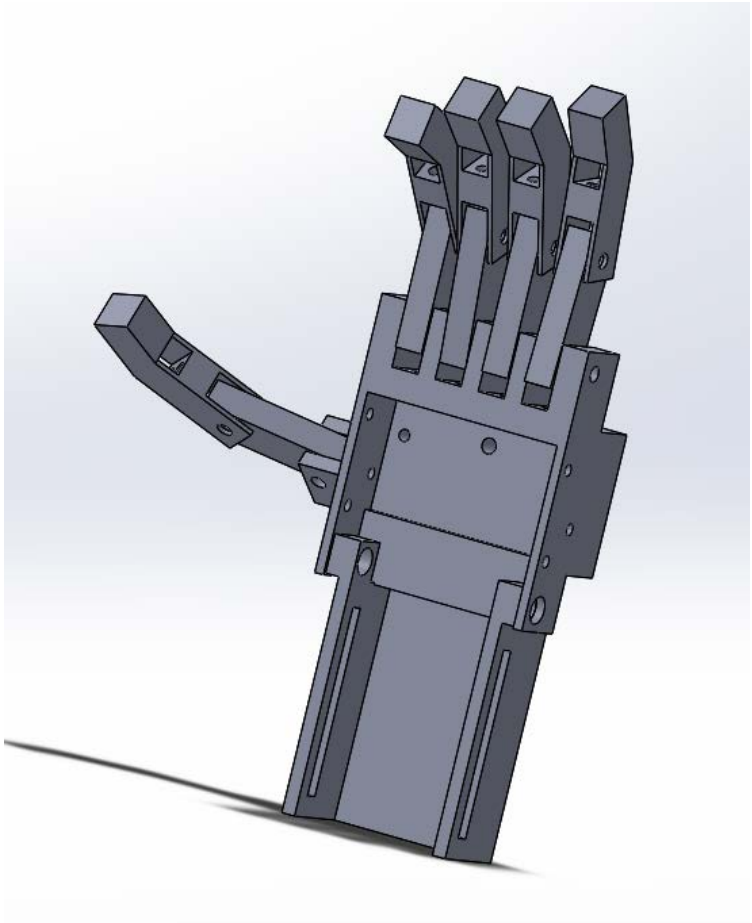
[16]https://www.javelin-tech.com/blog/2017/11/solidworks-2018-hardware-recommendations/

[17] https://solid-bi.es/solidworks/

[18] Trabajo fin de máster “Desarrollo y elaboración de una prótesis low-cost para países en desarrollo o en conflicto” – Beatriz Quiralte Moreno

[19] https://www.isglobal.org/-/sdgs-and-global-health

GUÍA DE FABRICACIÓN Y MONTAJE DE PRÓTESIS LOW-COST



Fabricación de las piezas de la prótesis

Materiales requeridos:

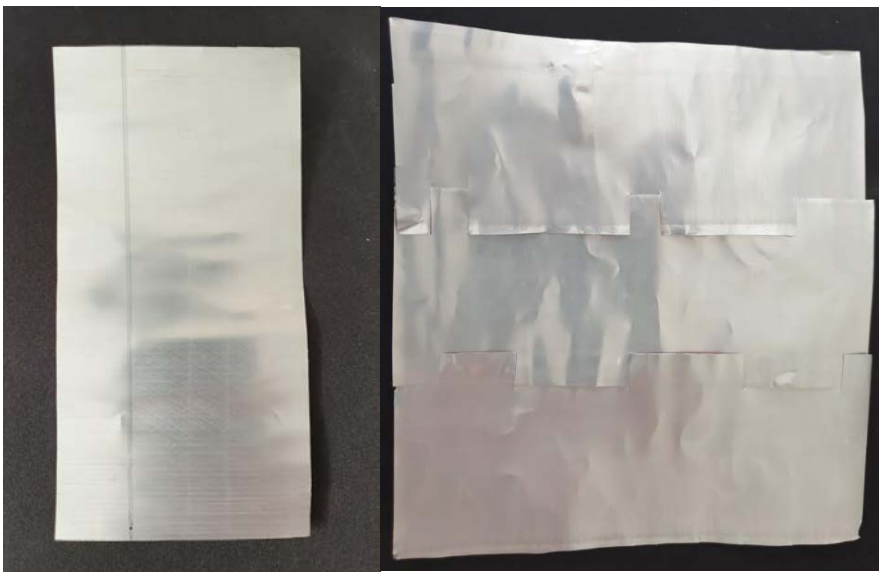
- 20 latas de aluminio
- 300 tapones de plástico
- Cuerda
- Cuerda elástica

Herramientas requeridas:

- Tijeras o cuchillo
- Horno que pueda alcanzar 180ºC
- Soldador eléctrico (opcional)

Paso 1: Preparación de las láminas de aluminio a partir de las latas

Se recortará con unas tijeras o un cuchillo la parte superior e inferior de las latas y se estirará usando las manos hasta que quede una lámina. En total se efectuarán 14 moldes. 12 de los moldes se podrán efectuar con una sola lámina mientras que 2 necesitarán de la unión de láminas debido a su tamaño. Para unir las láminas se efectúan 3 cortes equidistantes con una tijera en una de las láminas y se entrelaza otra lámina sobre los cortes efectuados tal y como se muestra en la imagen.

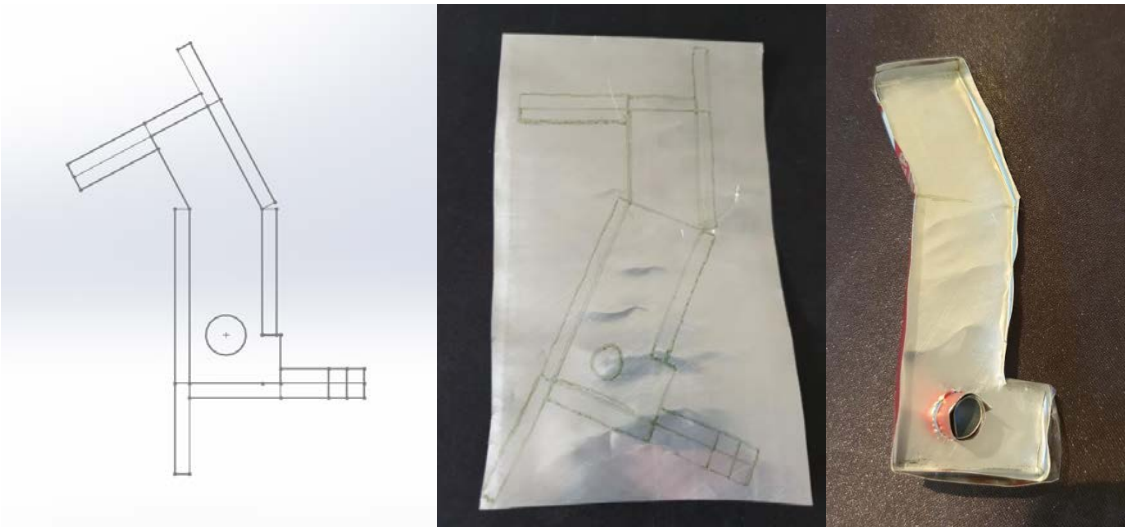


Paso 2: Partir los tapones en trozos

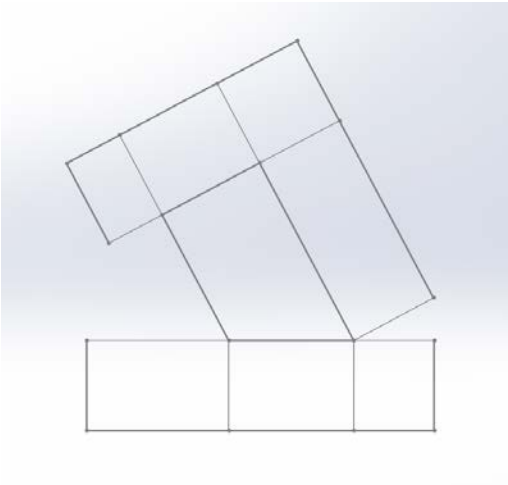
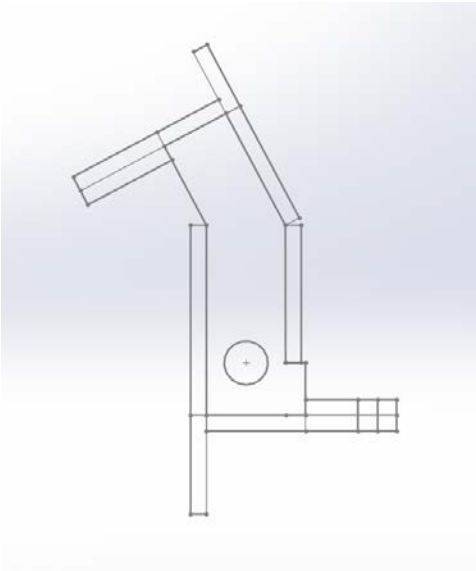
Para la gran mayoría de las piezas será necesario partir los tapones en trozos pequeños que quepan dentro de los moldes. Se recomienda cortar primero el tapón con un cuchillo y aplanarlo antes de cortarlo utilizando unas tijeras. En aquellos moldes grandes que quepan tapones enteros, se podrán fundir directamente son necesidad de cortarlos.

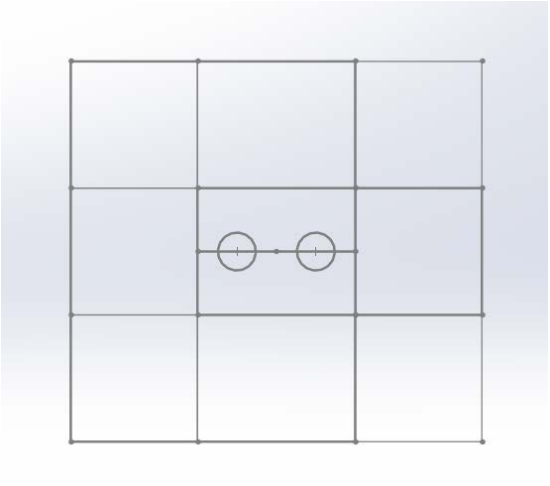
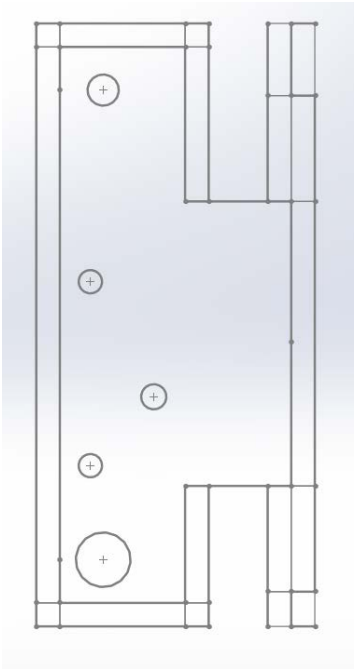
Paso 3: Fabricar los moldes

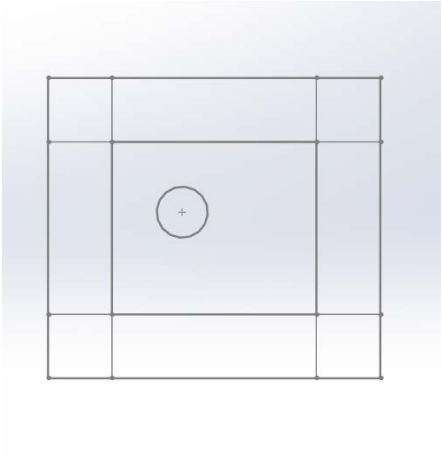
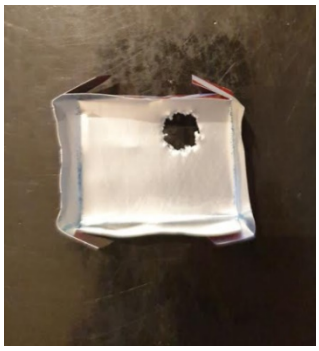
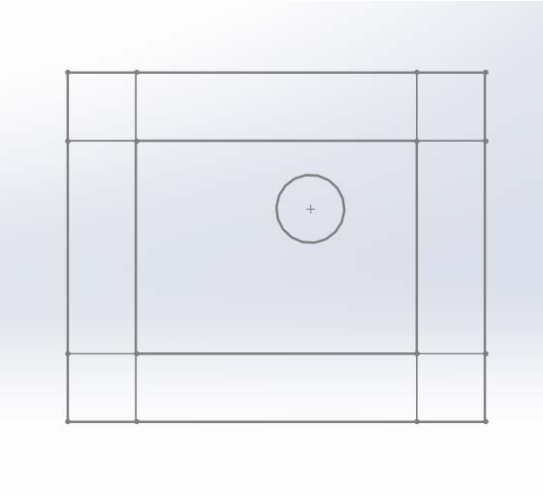
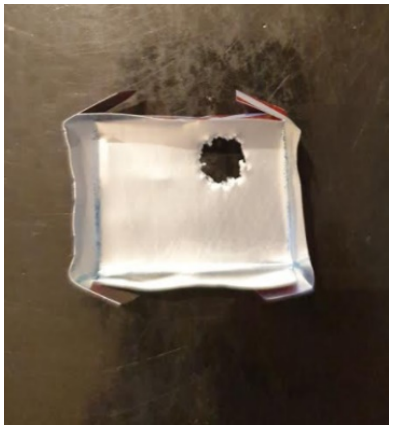
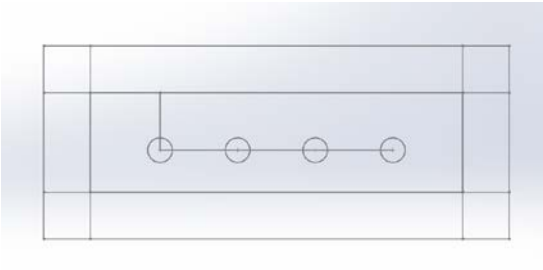
Al final de esta guía se proporciona una plantilla a escala para la fabricación de todos los moldes. Se recortarán las plantillas y se utilizarán como referencia encima de las láminas de aluminio para su rápida fabricación. En aquellos moldes en los que haya agujeros se introducirá al final un cilindro efectuado con un trozo de lata ya que en esa zona las piezas deben quedar huecas.

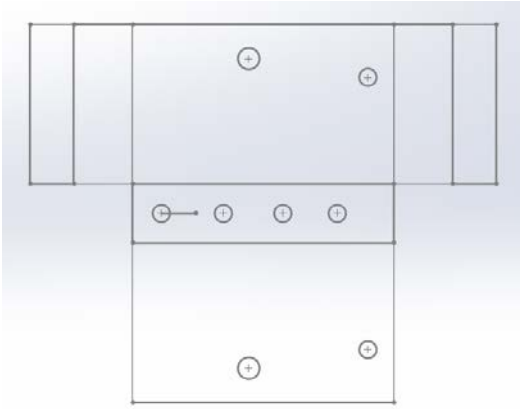
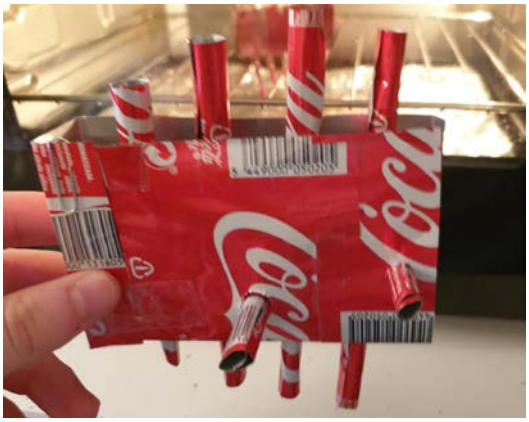
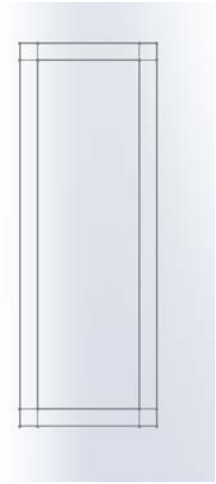
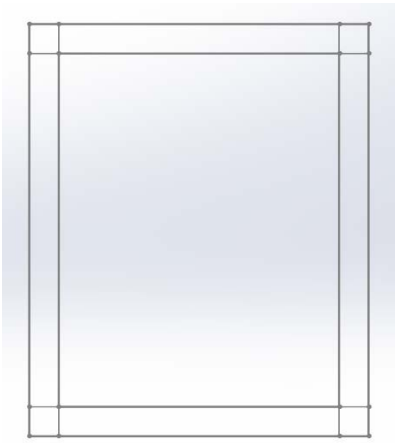


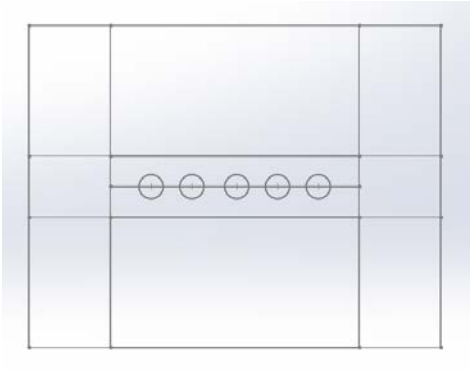
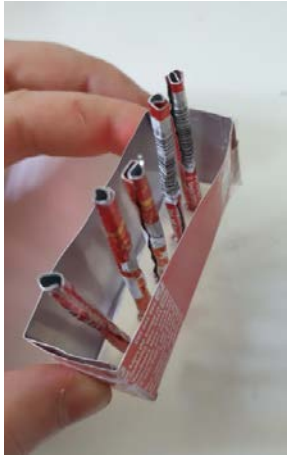
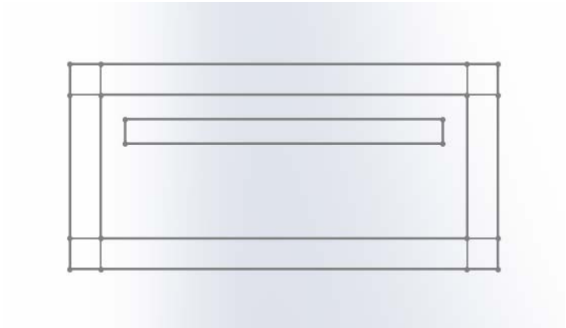
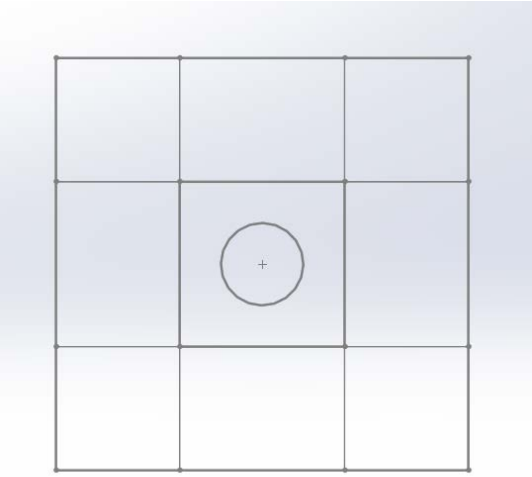
En la siguiente tabla se muestra cómo deben quedar los moldes terminados y el número de piezas que se deben efectuar con cada molde:

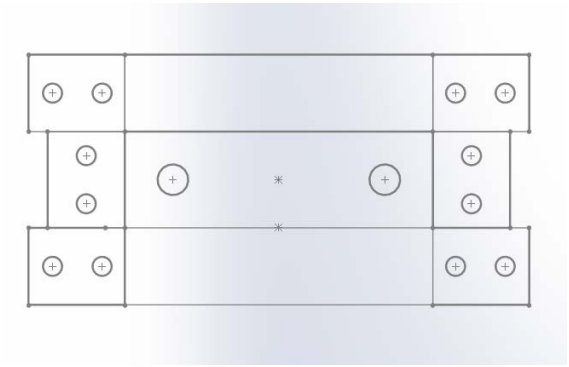
PUNTA DEL DEDO	5 PIEZAS
	
LATERAL PUNTA DEL DEDO	**10 PIEZAS**
	

MITAD PUNTA DEL DEDO	5 PIEZAS
	
LATERAL MANO	**2 PIEZAS**
	

NUDILLO	5 PIEZAS
	
NUDILLO PULGAR	**2 PIEZAS**
	
BASE NUDILLOS	**1 PIEZA**
	

PALMA MANO	1 PIEZA
	
SOPORTE PALMA MANO	**1 PIEZA**
	
BRAZO	**1 PIEZA**
	

ANCLAJE CUERDAS BRAZO	1 PIEZA
	
LATERAL BRAZO	**2 PIEZAS**
	
ANCLAJE BRAZO	**2 PIEZAS**
	

MITAD DEL DEDO	5 PIEZAS
	

Paso 4: Fabricar las piezas en el horno

Se rellenan los moldes con los trozos de plástico y se deja fundir durante 15 minutos a 180ºC en el horno. Pasado este tiempo se prensa el plástico y se añaden sucesivas capas de trozos de plástico hasta completar la pieza. Hay que dejar enfriar las piezas a temperatura ambiente antes de retirar el molde con cuidado para poder reutilizarlo. Aquellas piezas que son muy finas y planas hay que dejarlas enfriar con algo de peso encima para evitar que las contracciones del plástico deformen la pieza.

Paso 5: Unión de las piezas

Si se dispone de un soldador eléctrico se podrán unir las piezas sin utilizar el horno.

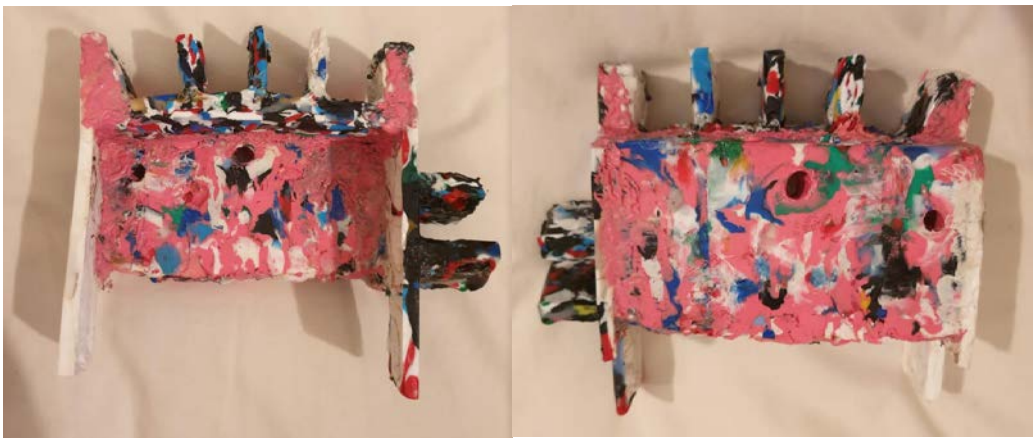
Unión dedo:

Se deja el lateral del dedo caliente en el horno y dentro del molde y se unen la punta del dedo y la mitad de la punta del dedo presionándolas. Se deja enfriar. Se calienta el otro lateral del dedo y se unen las piezas anteriores a él.

Unión mano:

Se calienta la base de los nudillos en el horno y se unen los nudillos.

Se une la pieza anterior a un lateral de la mano calentada. Al otro lateral de la mano se le unirán los nudillos del pulgar. Finalmente se juntan los laterales con la palma de la mano y el soporte de la mano y se deja enfriar toda la pieza.

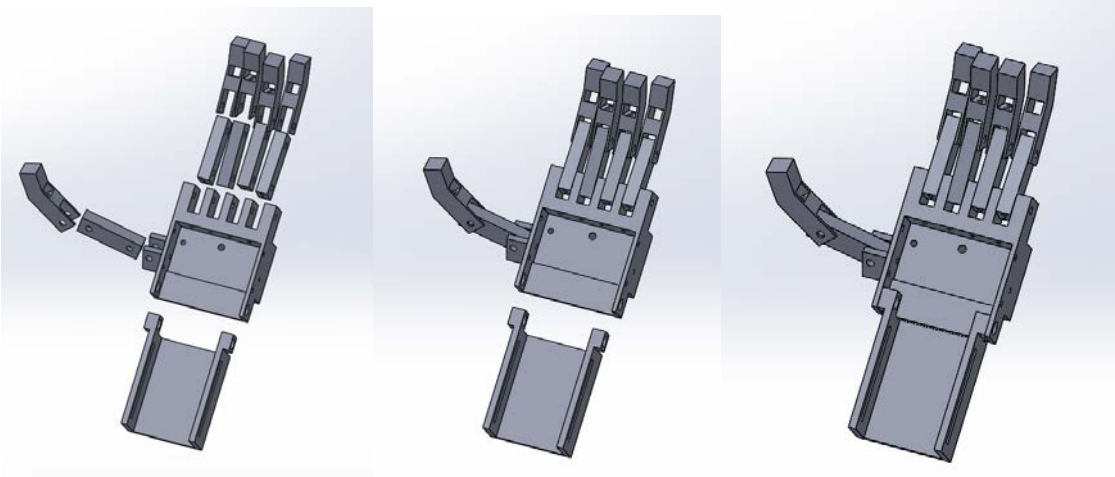


Unión brazo:

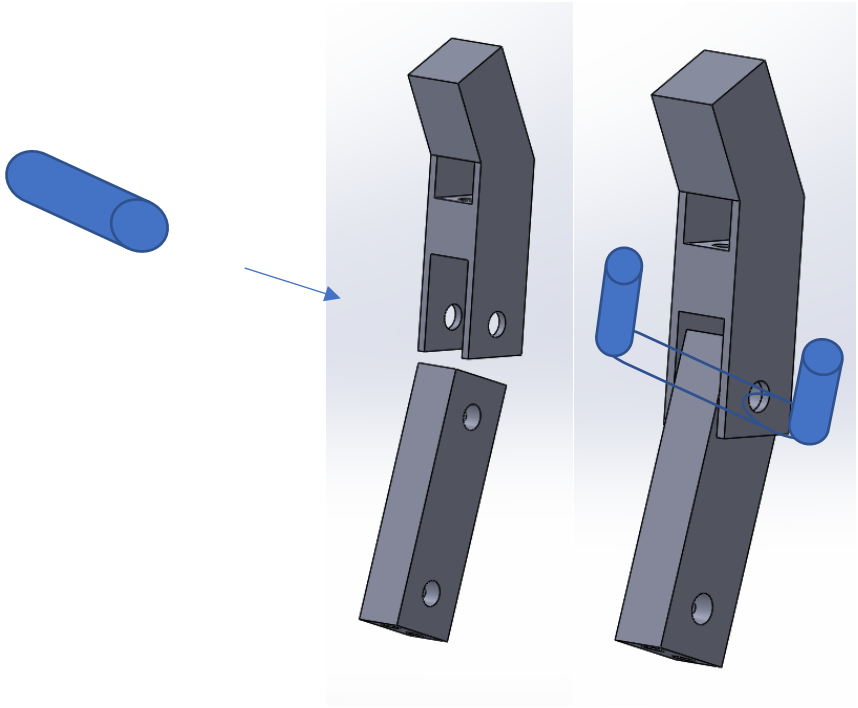
Se calienta un lateral y se le une la pieza principal del brazo. Una vez se enfrían, se juntan estas dos piezas con el lateral restante que se calienta previamente.

Montaje de la prótesis

En las siguientes imágenes se muestra cómo encajan las piezas:

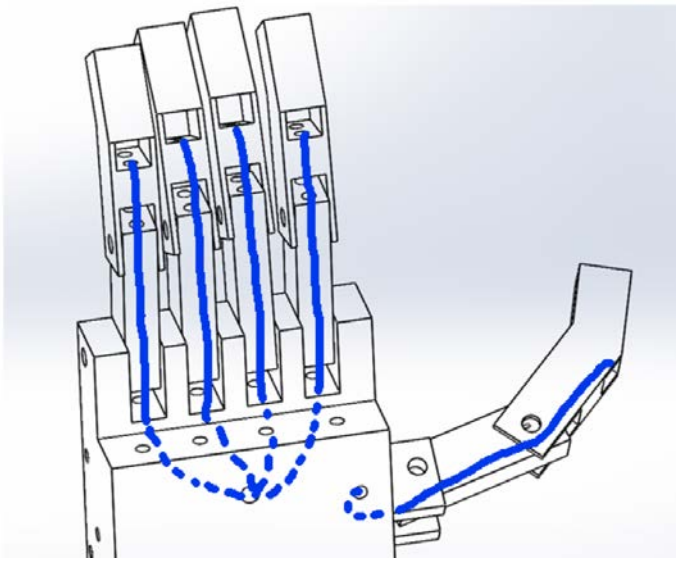


Todas las uniones de las piezas se harán a mediante un cilindro de lata. El cilindro se expande al introducirlo en la unión. Los cilindros de lata deben sobresalir alrededor de 1cm a cada lado de la pieza y este sobrante se doblará hacia arriba para evitar que el cilindro se salga.



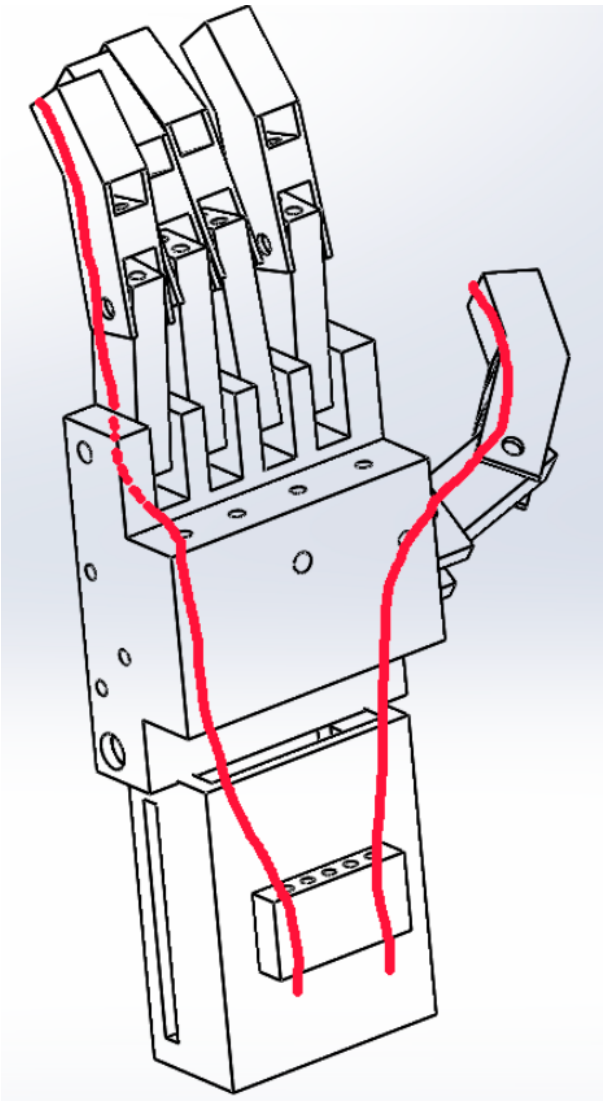
Cuerdas elásticas:

Se ata la cuerda elástica a la parte trasera de la punta del dedo. La cuerda baja por el agujero trasero de la mitad de la punta del dedo y por el agujero de los nudillos. Se pasa la cuerda por el agujero de la mitad de la palma de la mano hacia la parte trasera de la palma. En ese agujero se unen todas las cuerdas en un nudo gordo. Estas cuerdas han de mantener los dedos en posición estirada. En el caso del dedo gordo la cuerda termina en un agujero aparte como se muestra en la imagen. Se muestra cómo van atadas todas las cuerdas elásticas.



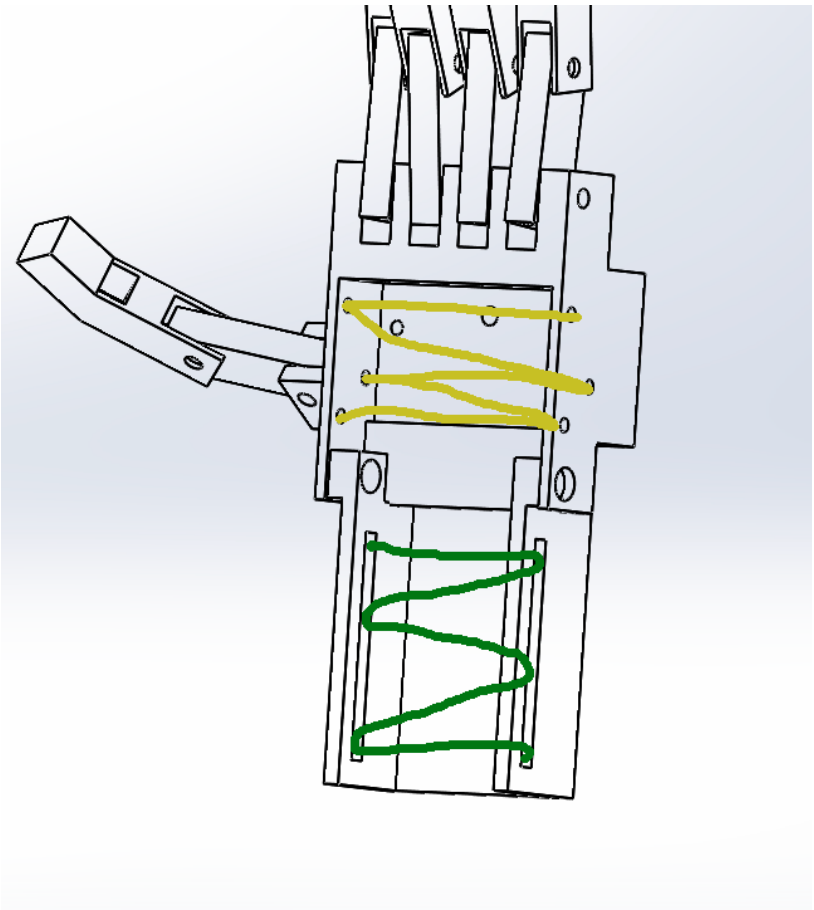
Cuerdas rígidas:

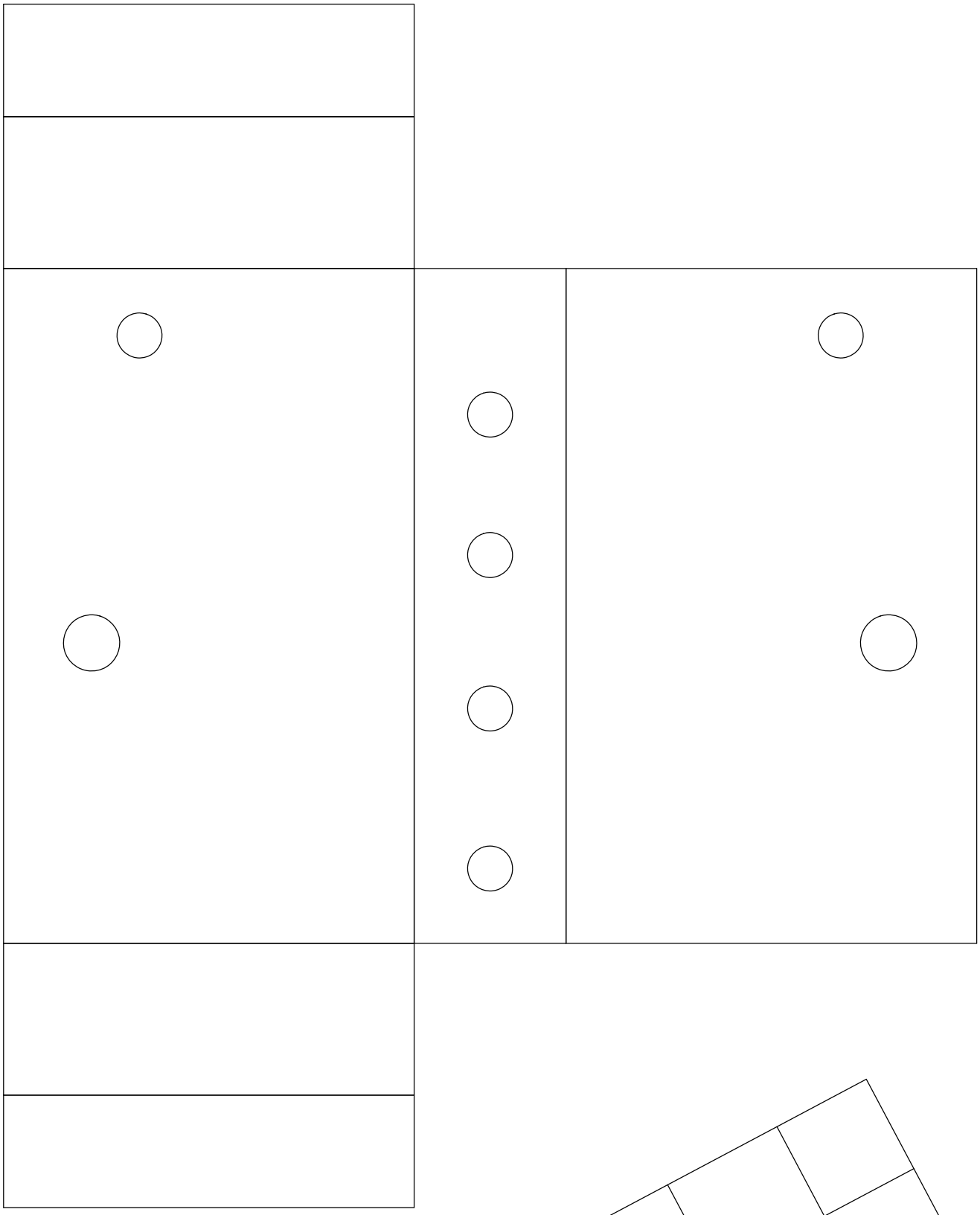
Las cuerdas rígidas se atan a la parte delantera de la punta del dedo. Bajan por el agujero delantero de la mitad de la punta del dedo y pasan directamente por los agujeros de la parte trasera de la palma de la mano. Finalmente bajan hasta los agujeros del anclaje del brazo y es ahí donde se tensan. Estas cuerdas hacen flexionar los dedos cuando se gira la muñeca. En el caso del pulgar la cuerda pasa por el mismo agujero que en el caso de la cuerda elástica como se muestra en la imagen. En la imagen se muestra el ejemplo para un dedo y para el pulgar.

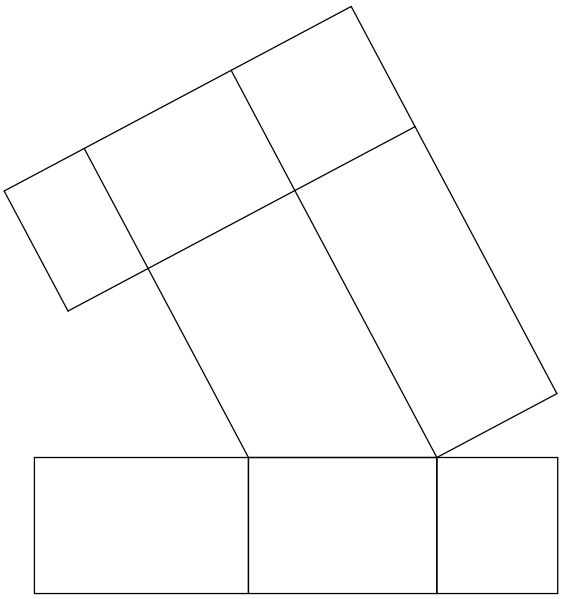


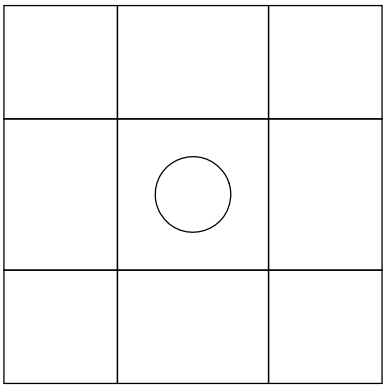
Fijación a la mano del usuario:

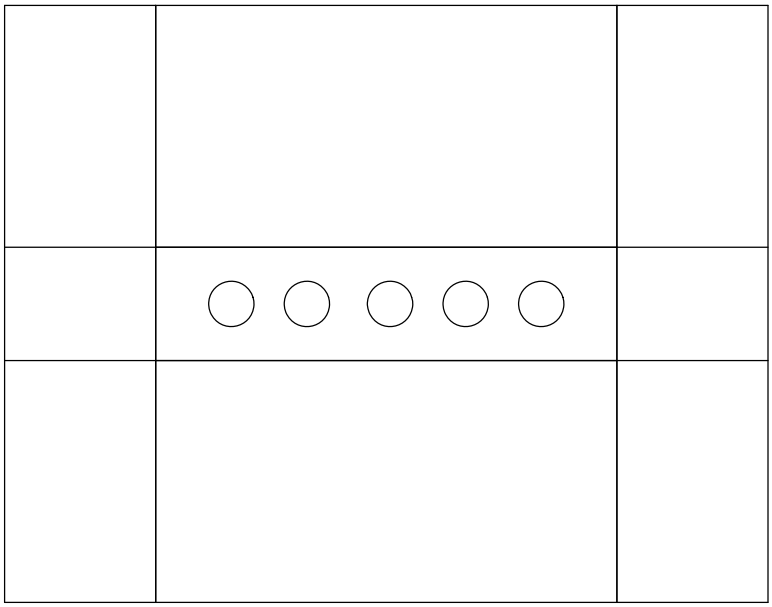
Para agarrar el brazo del usuario se hace pasar una cuerda por los laterales de la pieza del brazo y se ata como unos cordones de unos zapatos (cuerda verde). Del mismo modo el muñón se agarra con una cuerda por los agujeros de los laterales de la mano (cuerda amarilla).

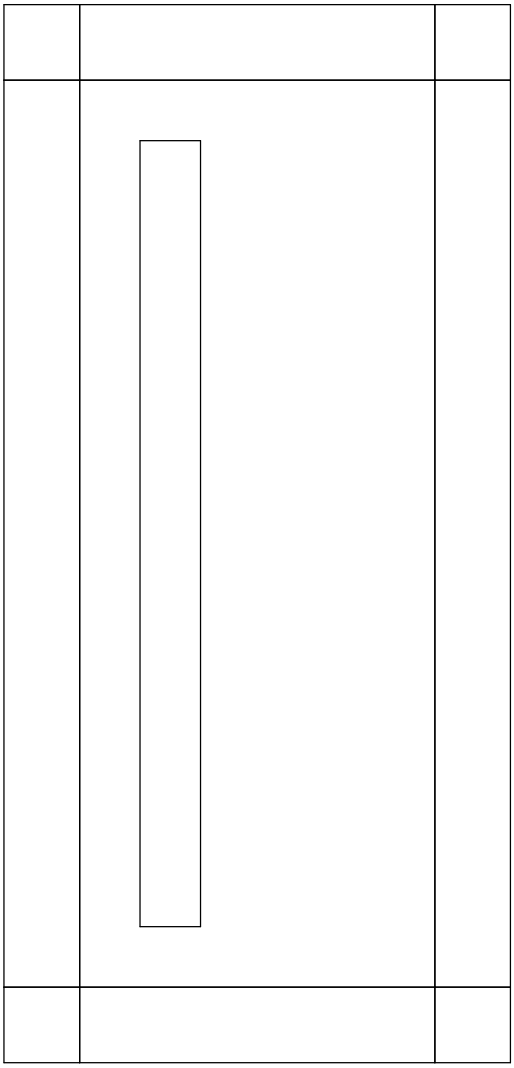


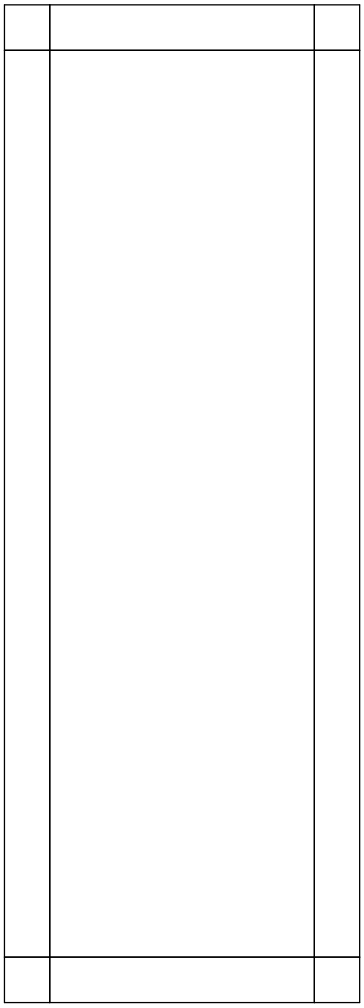


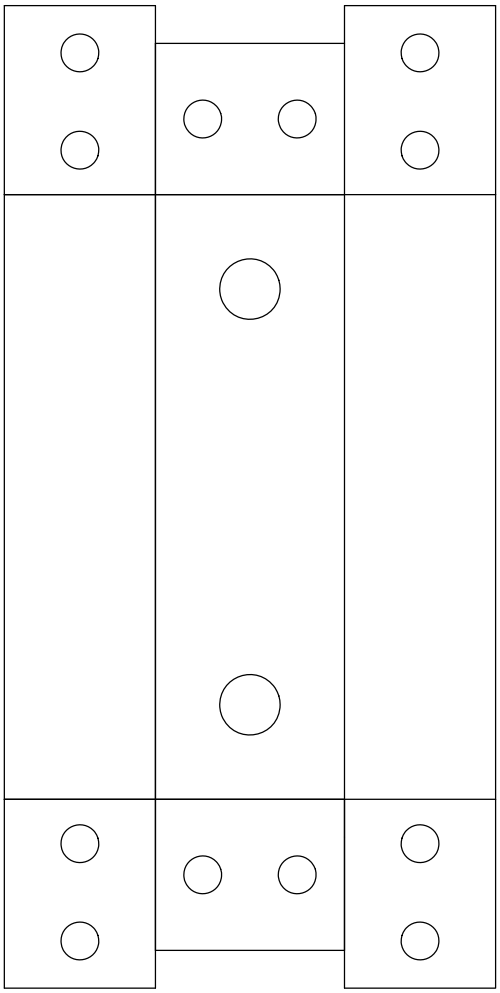


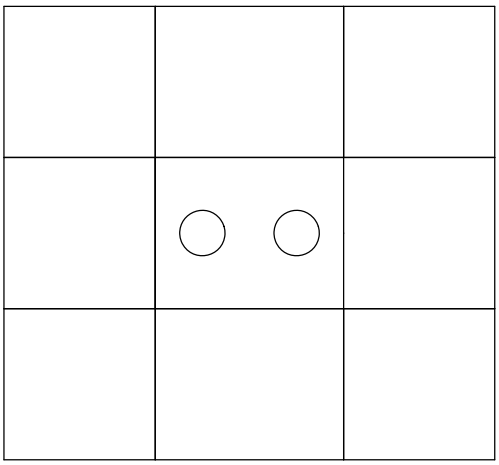


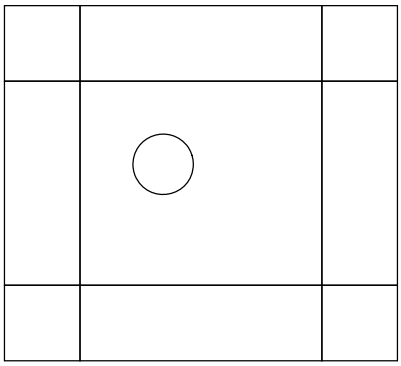


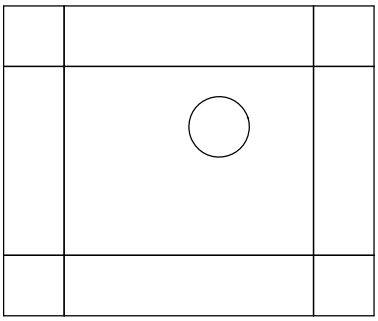


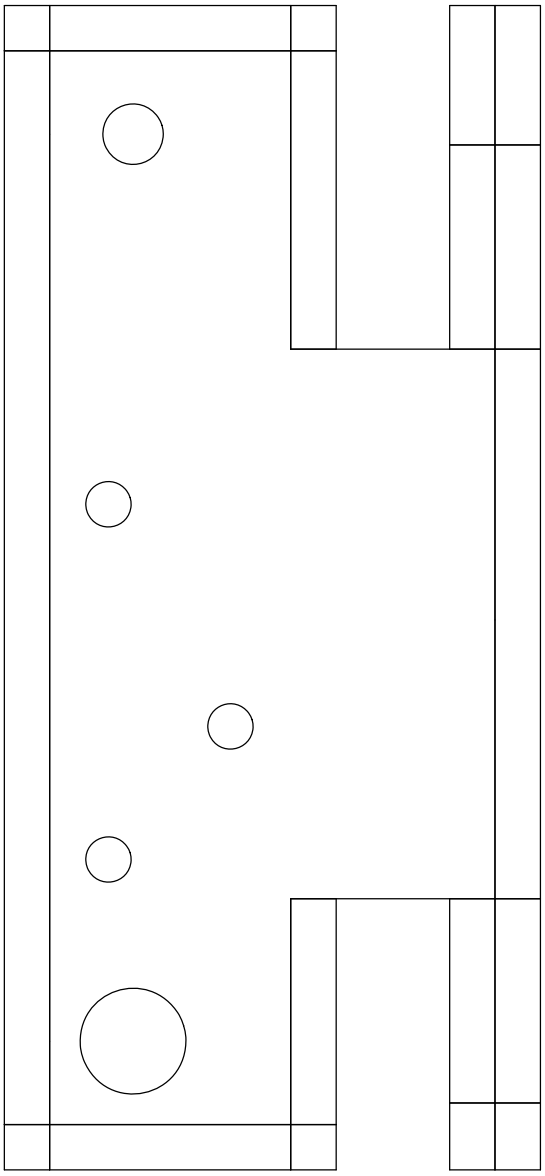


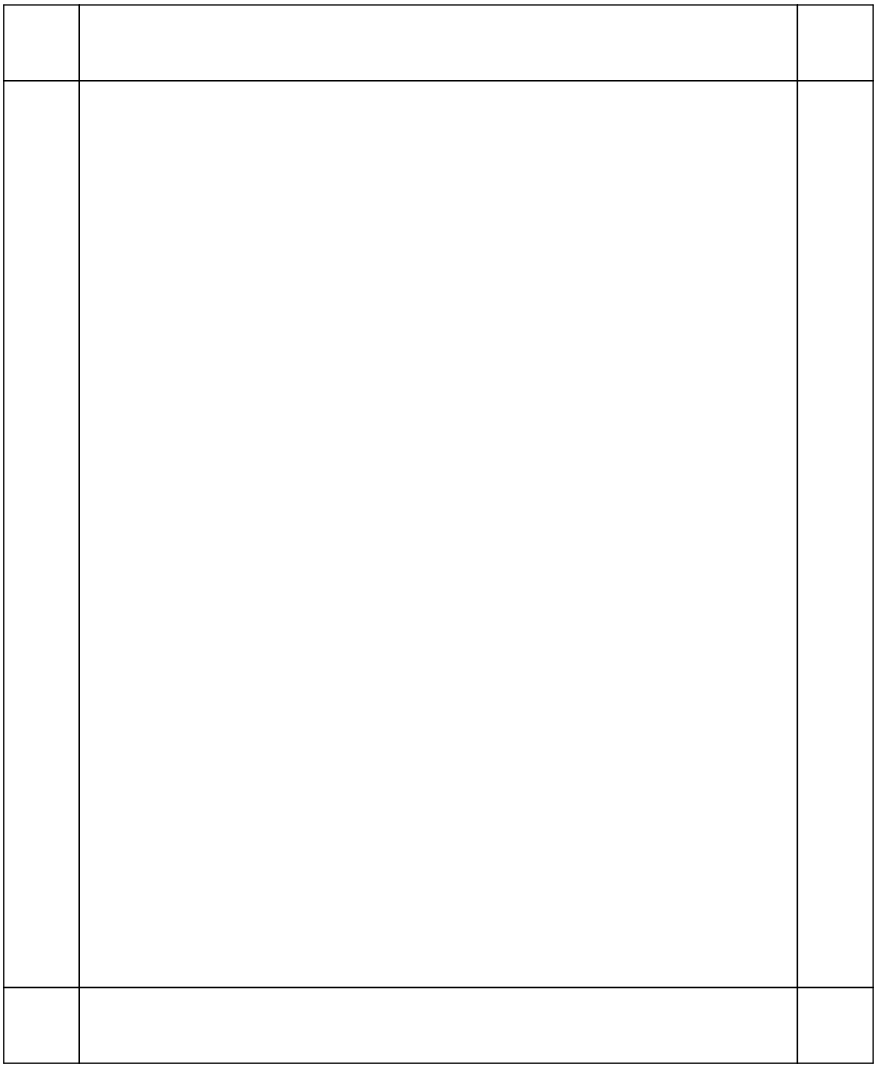


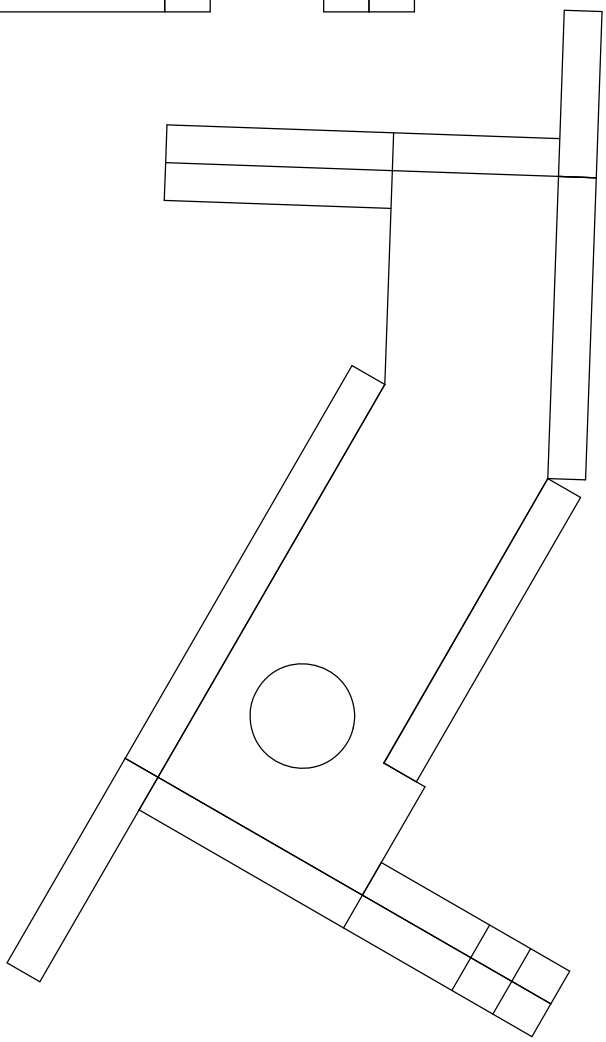


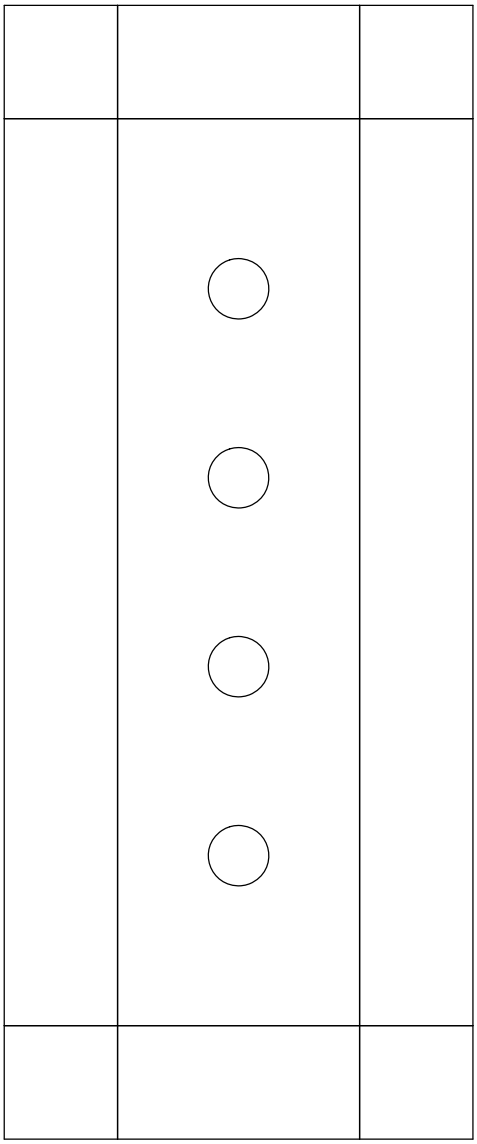












Anexo: Planos

Plano 1: Molde anclaje brazo

Plano 2: Molde soporte de cuerdas

Plano 3: Molde lateral del brazo

Plano 4: Molde pieza trasera brazo

Plano 5: Molde punta de dedo

Plano 6: Molde lateral dedo

Plano 7: Molde mitad punta dedo

Plano 8: Molde base nudillos

Plano 9: Molde nudillo

Plano 10: Molde nudillo pulgar

Plano 11: Molde lateral mano

Plano 12: Molde palma mano

Plano 13: Molde soporte palma mano

Plano 14: Molde mitad dedo

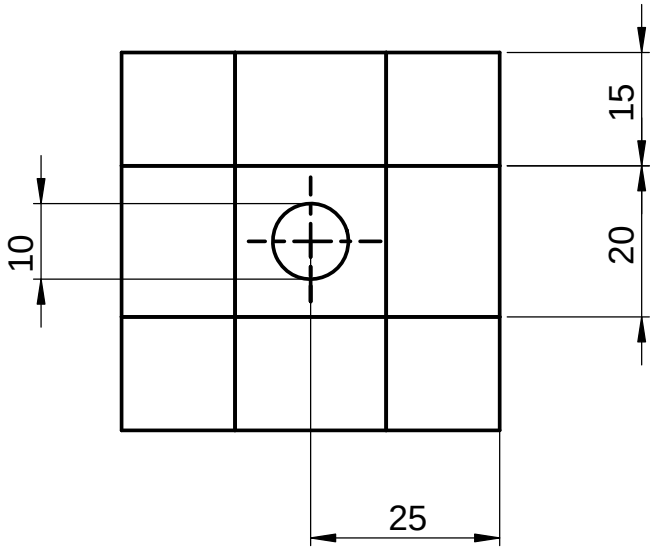
Plano 15: Punta dedo

Plano 16: Mitad dedo

Plano 17: Brazo

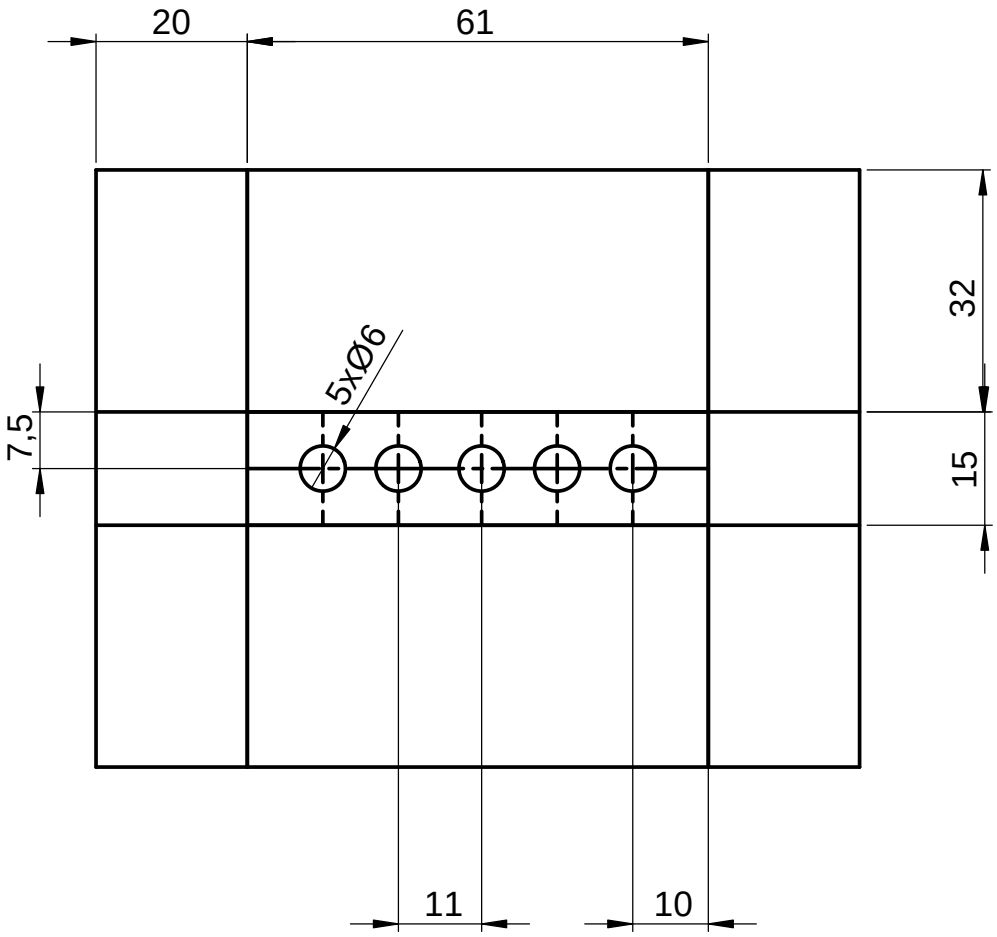
Plano 18: Mano

Plano 19: Prótesis de mano



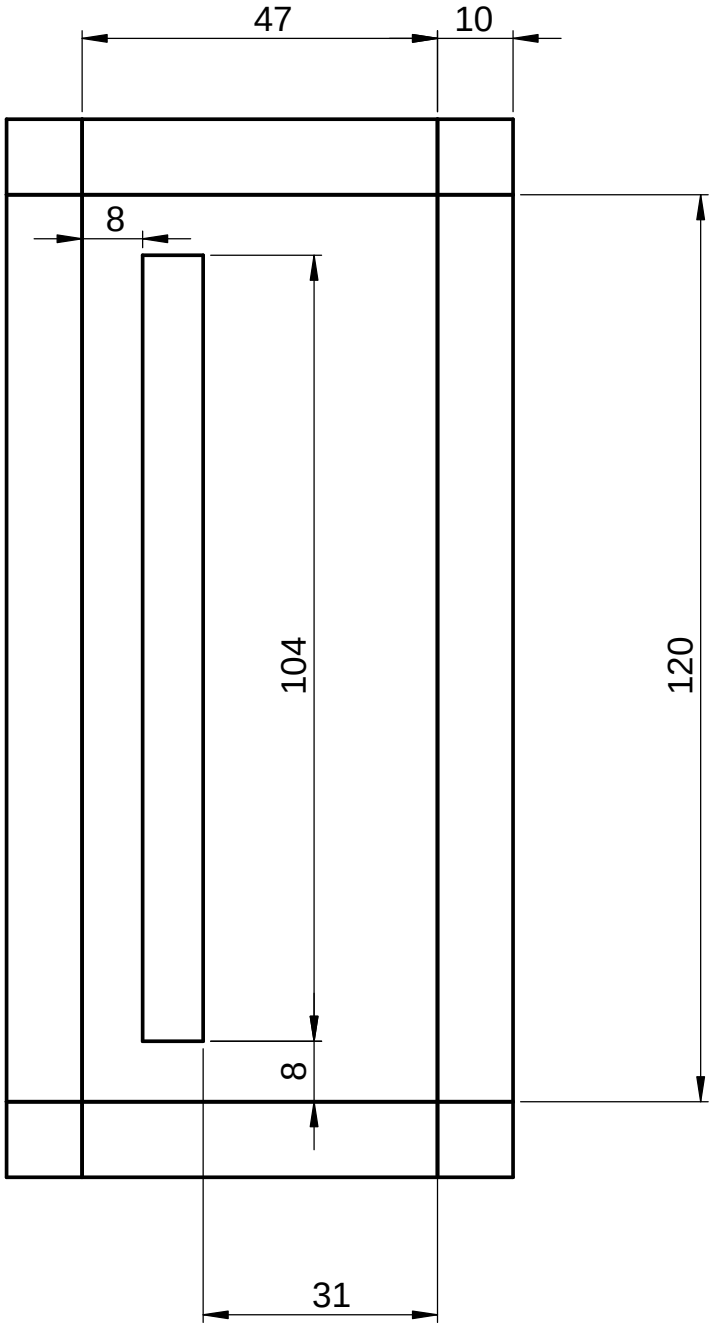
Cotas en mm
Tolerancia dimensional ± 1mm

NOMBRE: ÁLVARO VALDÉS GÓMEZ		**PIEZA:** MOLDE ANCLAJE BRAZO
FECHA: 10/03/2021	**ESCALA:** 1:1	
CONJUNTO: BRAZO		**Nº PIEZAS:** 2 / **Nº PLANO:** 1



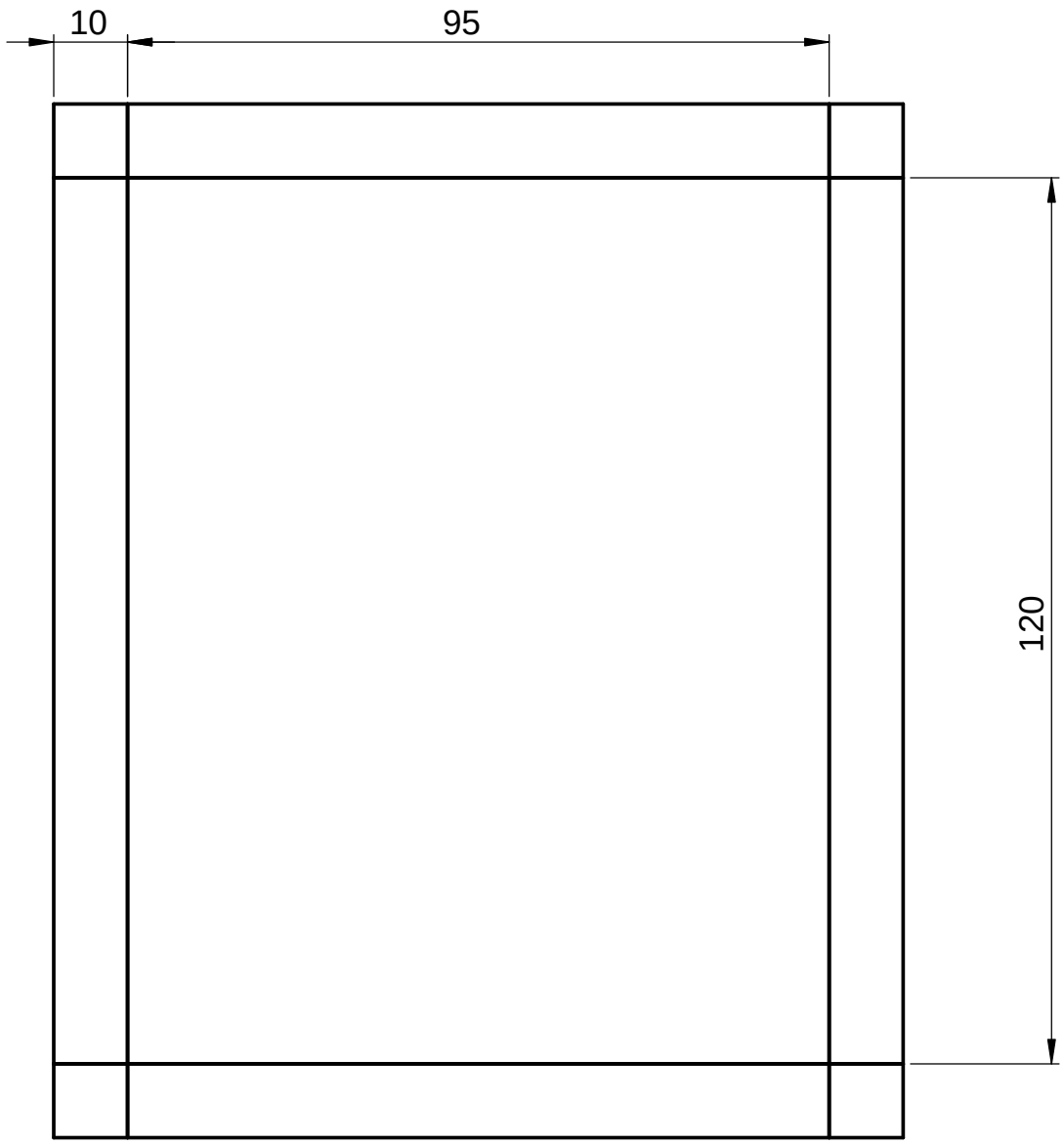
Cotas en mm
Tolerancia dimensional ± 1mm

NOMBRE: ÁLVARO VALDÉS GÓMEZ		PIEZA: MOLDE SOPORTE DE CUERDAS
FECHA: 10/03/2021	ESCALA: 1:1	
CONJUNTO: BRAZO		Nº PIEZAS: 1 / Nº PLANO: 2



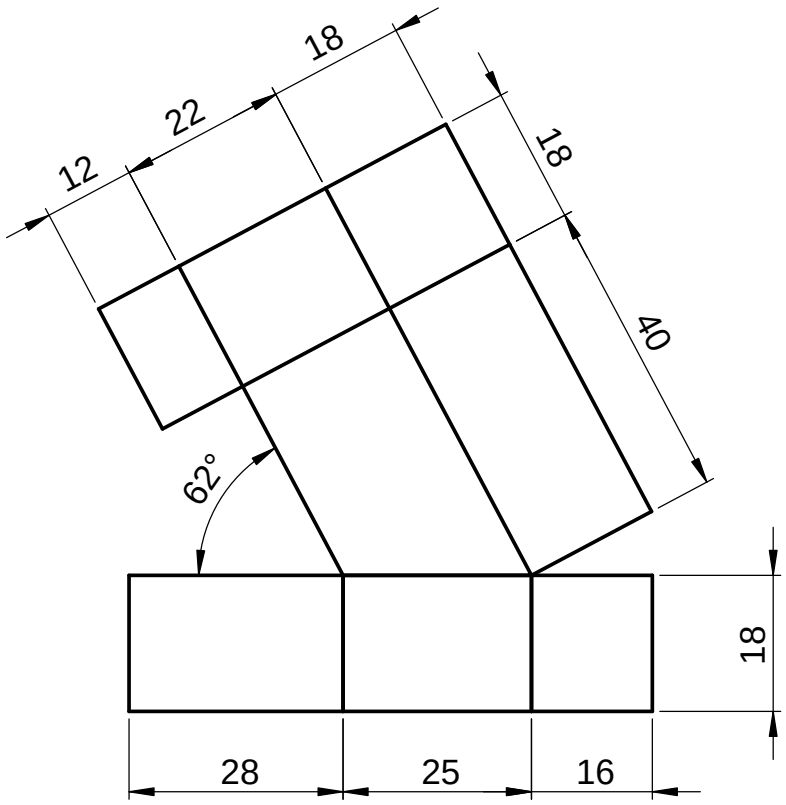
Cotas en mm
Tolerancia dimensional ± 1mm

NOMBRE: ÁLVARO VALDÉS GÓMEZ		**PIEZA:** MOLDE LATERAL DEL BRAZO
FECHA: 10/03/2021	**ESCALA:** 1:1	
CONJUNTO: BRAZO		**Nº PIEZAS:** 2 / **Nº PLANO:** 3



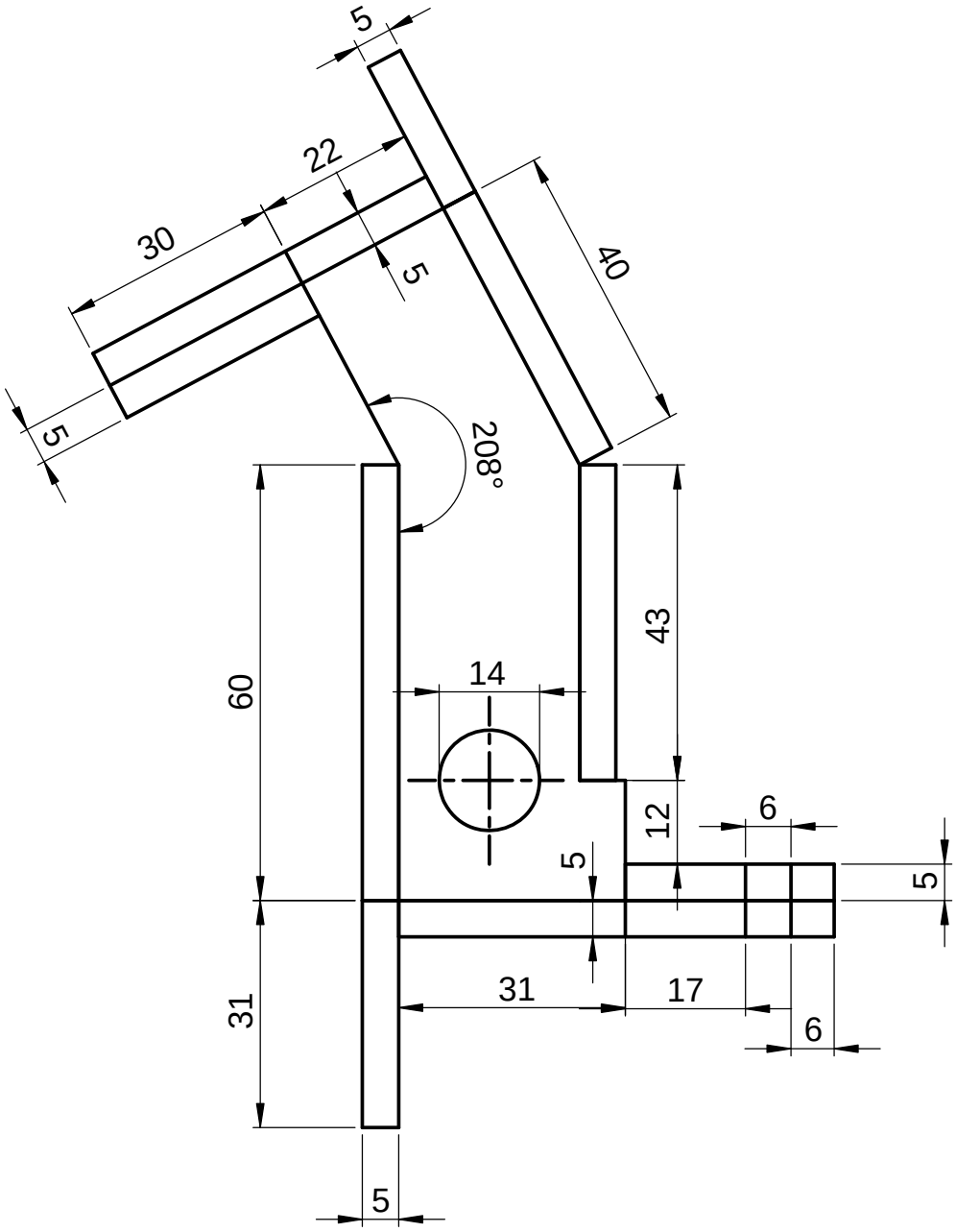
Cotas en mm
Tolerancia dimensional ± 1mm

NOMBRE: ÁLVARO VALDÉS GÓMEZ		**PIEZA:** MOLDE PIEZA TRASERA BRAZO
FECHA: 10/03/2021	**ESCALA:** 1:1	
CONJUNTO: BRAZO		**Nº PIEZAS:** 1 / **Nº PLANO:** 4



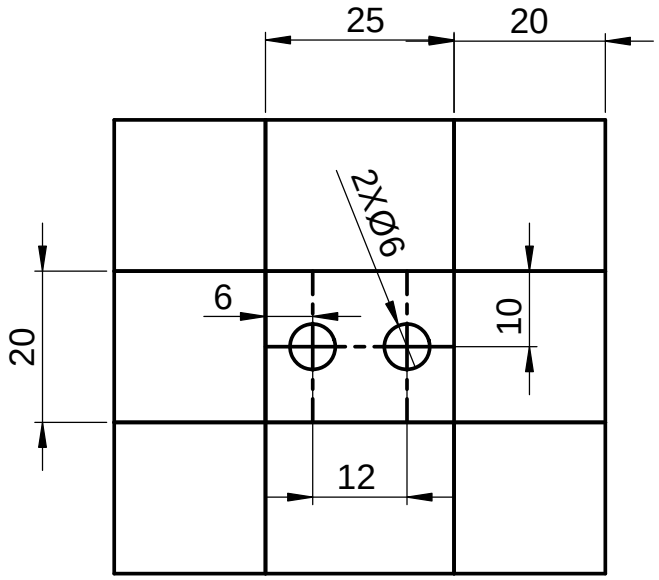
Cotas en mm
Tolerancia dimensional ± 1mm

NOMBRE: ÁLVARO VALDÉS GÓMEZ		**PIEZA:** MOLDE PUNTA DE DEDO
FECHA: 10/03/2021	**ESCALA:** 1:1	
CONJUNTO: DEDO		**Nº PIEZAS:** 5 / **Nº PLANO:** 5



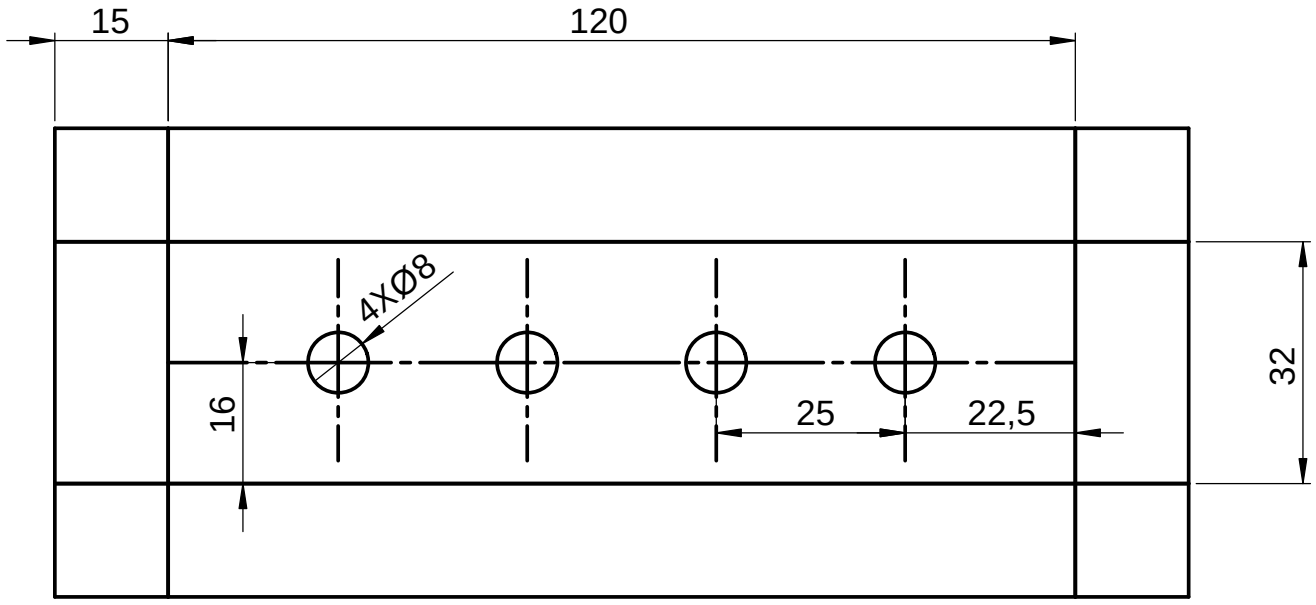
Cotas en mm
Tolerancia dimensional ± 1mm

NOMBRE: ÁLVARO VALDÉS GÓMEZ		PIEZA: MOLDE LATERAL DEDO	
FECHA: 10/03/2021	ESCALA: 1:1		
CONJUNTO: DEDO		Nº PIEZAS: 10	Nº PLANO: 6



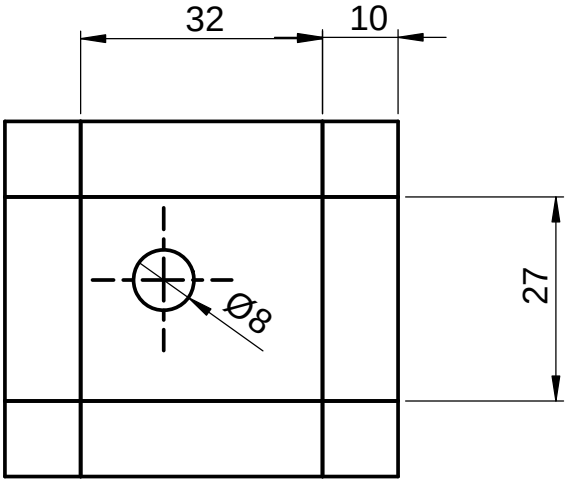
Cotas en mm
Tolerancia dimensional ± 1mm

NOMBRE: ÁLVARO VALDÉS GÓMEZ		PIEZA: MOLDE MITAD PUNTA DEDO
FECHA: 10/03/2021	ESCALA: 1:1	
CONJUNTO: DEDO		Nº PIEZAS: 5 / Nº PLANO: 7



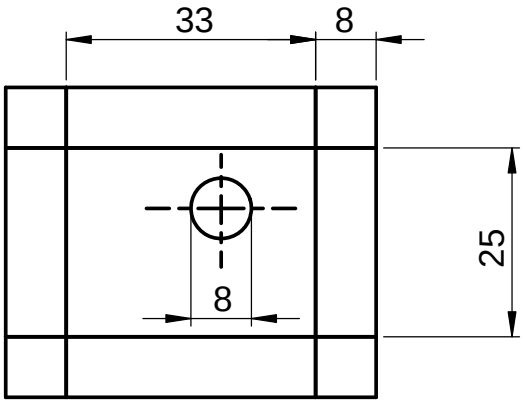
Cotas en mm
Tolerancia dimensional ± 1mm

NOMBRE: ÁLVARO VALDÉS GÓMEZ		**PIEZA:** MOLDE BASE NUDILLOS
FECHA: 10/03/2021	**ESCALA:** 1:1	
CONJUNTO: MANO		**Nº PIEZAS:** 1 / **Nº PLANO:** 8



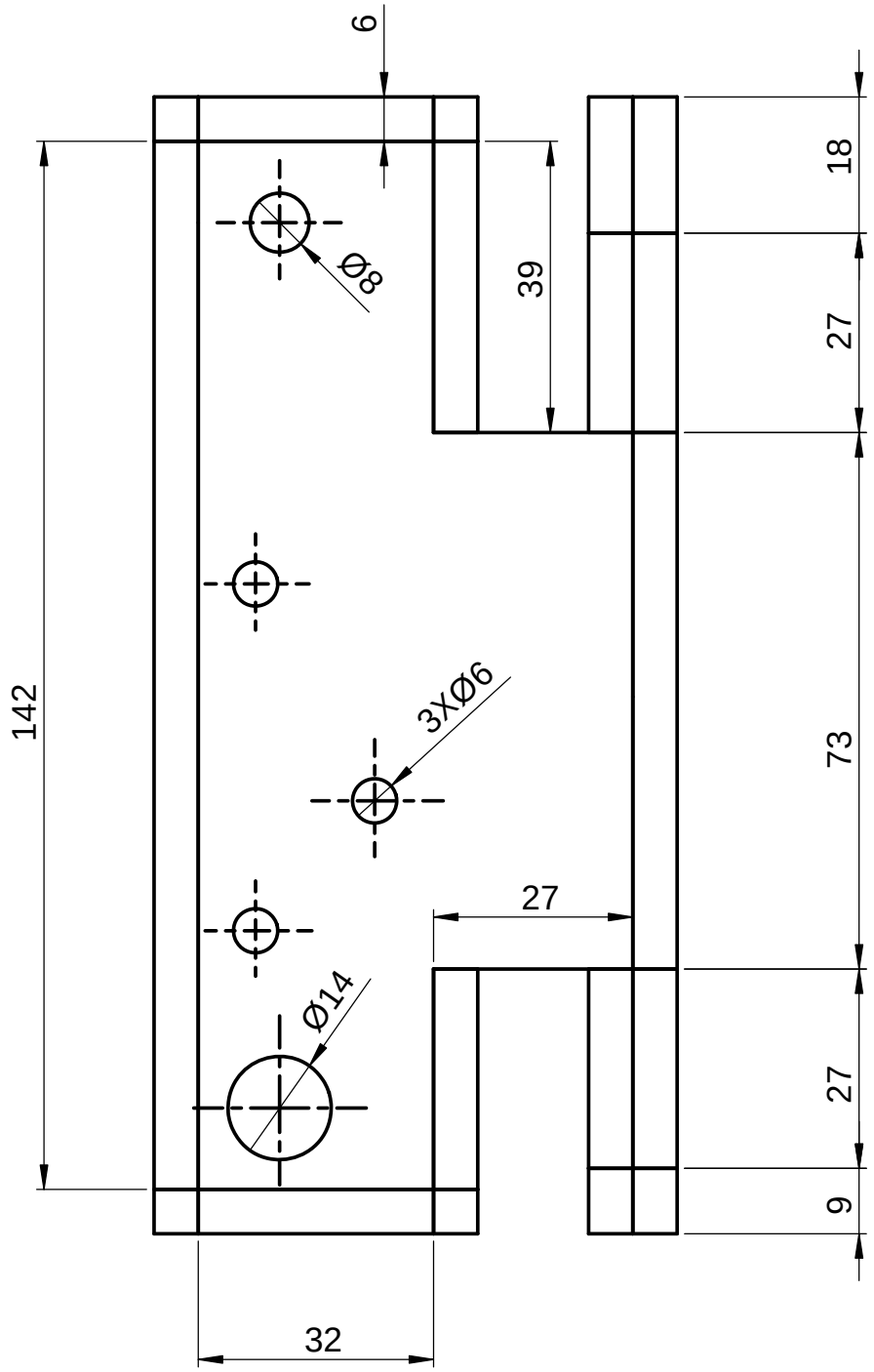
Cotas en mm
Tolerancia dimensional ± 1mm

NOMBRE: ÁLVARO VALDÉS GÓMEZ		**PIEZA:** MOLDE NUDILLO
FECHA: 10/03/2021	**ESCALA:** 1:1	
CONJUNTO: MANO		**Nº PIEZAS:** 5 / **Nº PLANO:** 9



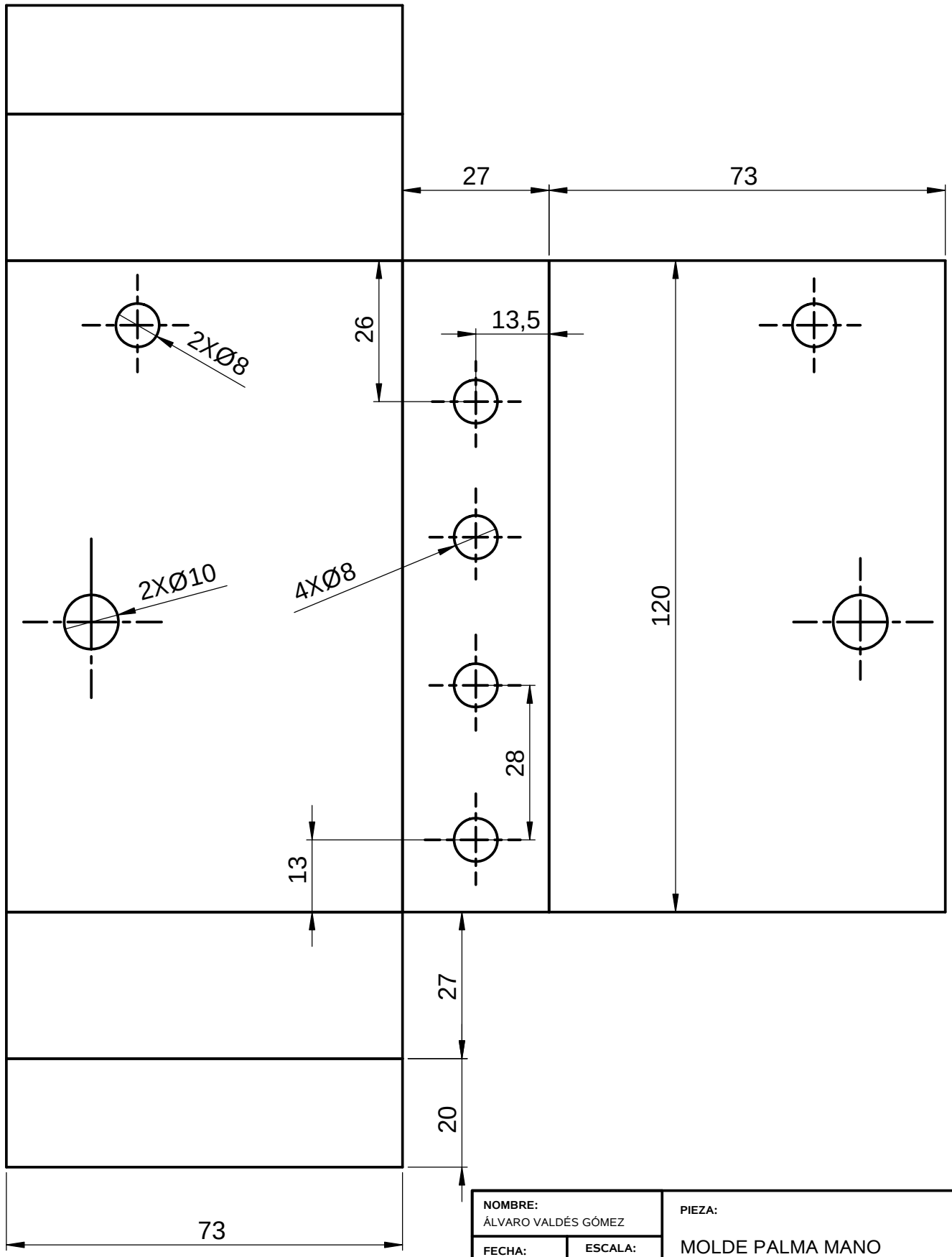
Cotas en mm
Tolerancia dimensional ± 1mm

NOMBRE: ÁLVARO VALDÉS GÓMEZ		**PIEZA:** MOLDE NUDILLO PULGAR
FECHA: 10/03/2021	**ESCALA:** 1:1	
CONJUNTO: MANO		**Nº PIEZAS:** 2 / **Nº PLANO:** 10



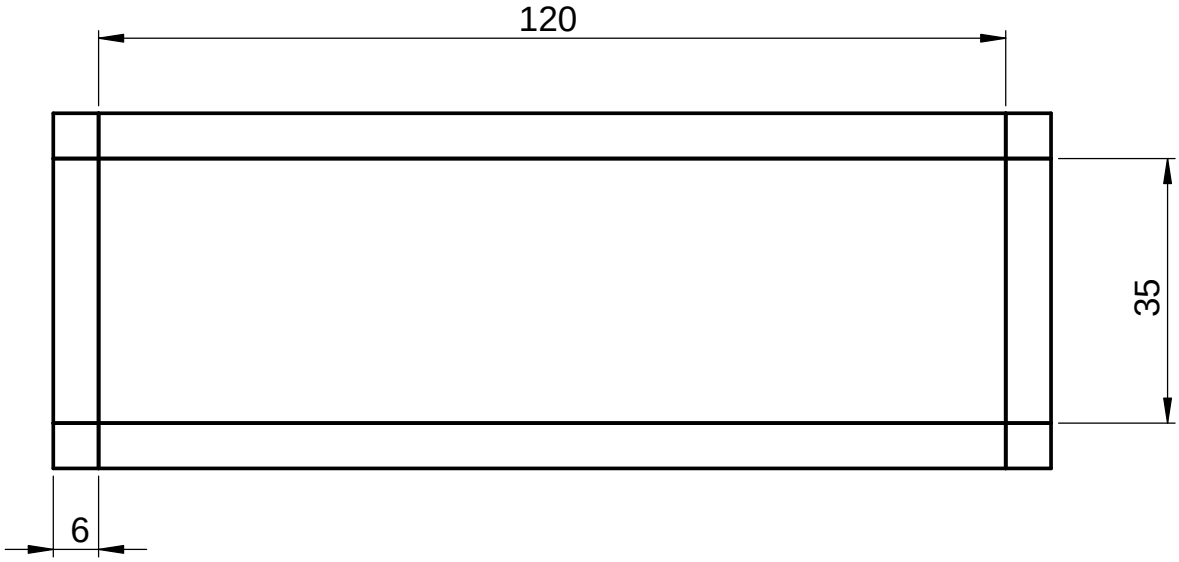
Cotas en mm
Tolerancia dimensional ± 1mm

NOMBRE: ÁLVARO VALDÉS GÓMEZ		**PIEZA:** MOLDE LATERAL MANO
FECHA: 10/03/2021	**ESCALA:** 1:1	
CONJUNTO: MANO		**Nº PIEZAS:** 2 / **Nº PLANO:** 11



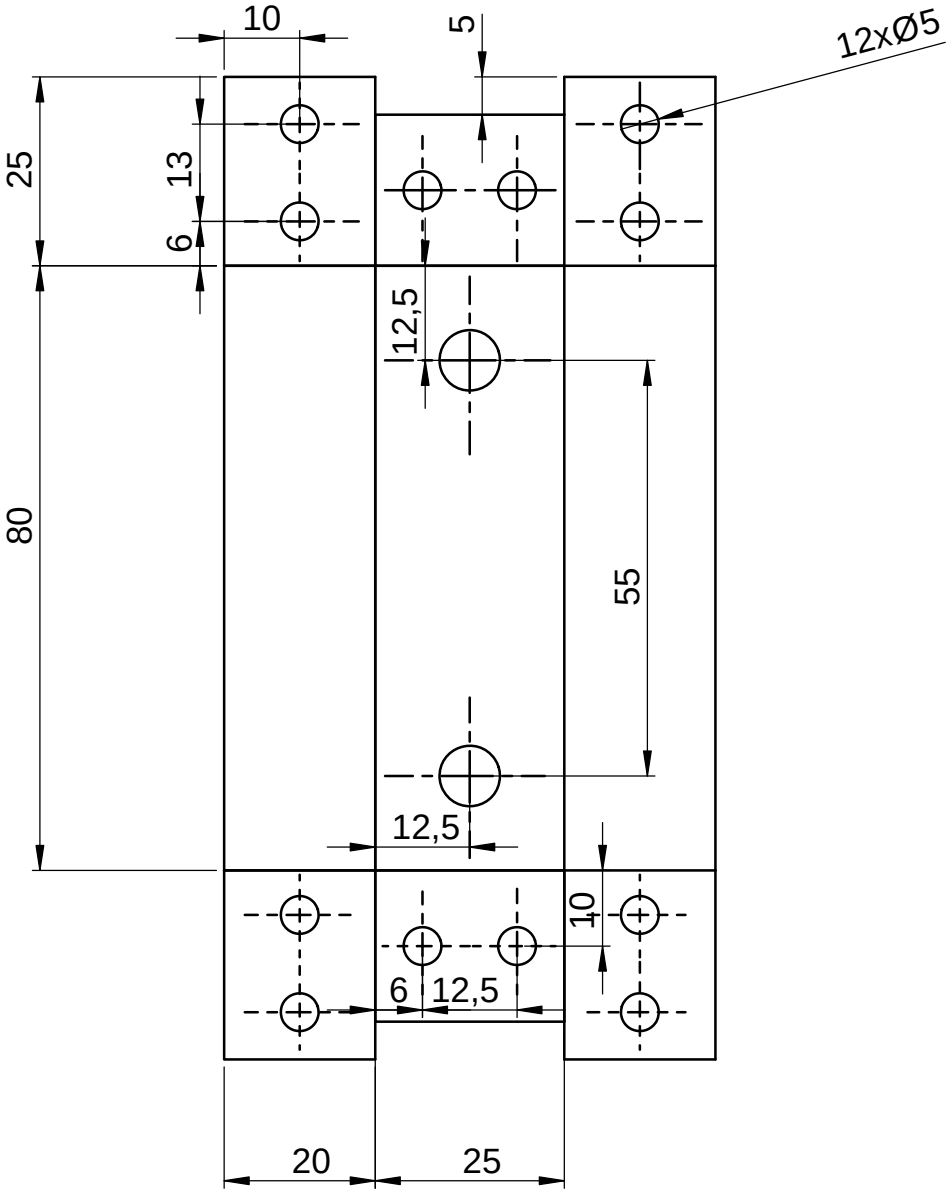
Cotas en mm
Tolerancia dimensional ± 1mm

NOMBRE: ÁLVARO VALDÉS GÓMEZ		PIEZA: MOLDE PALMA MANO	
FECHA: 10/03/2021	ESCALA: 1:1		
CONJUNTO: MANO		Nº PIEZAS: 1	Nº PLANO: 12



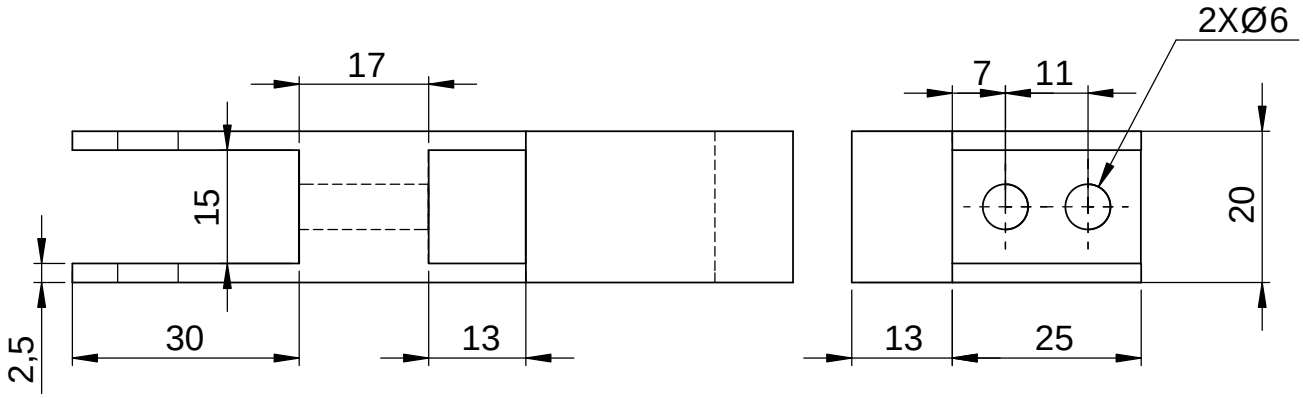
Cotas en mm
Tolerancia dimensional ± 1mm

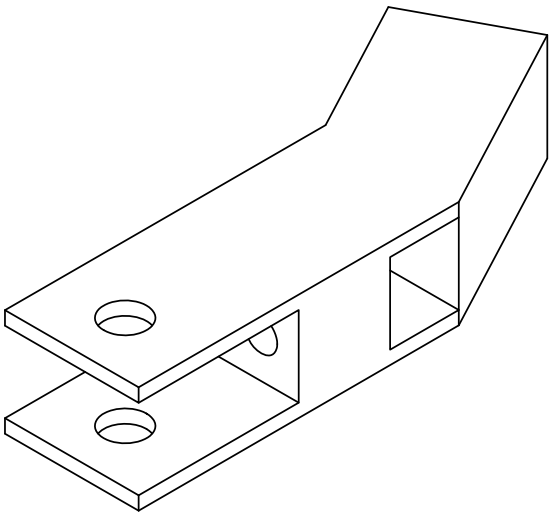
NOMBRE: ÁLVARO VALDÉS GÓMEZ		**PIEZA:** MOLDE SOPORTE PALMA MANO
FECHA: 10/03/2021	**ESCALA:** 1:1	
CONJUNTO: MANO		**Nº PIEZAS:** 1 / **Nº PLANO:** 13

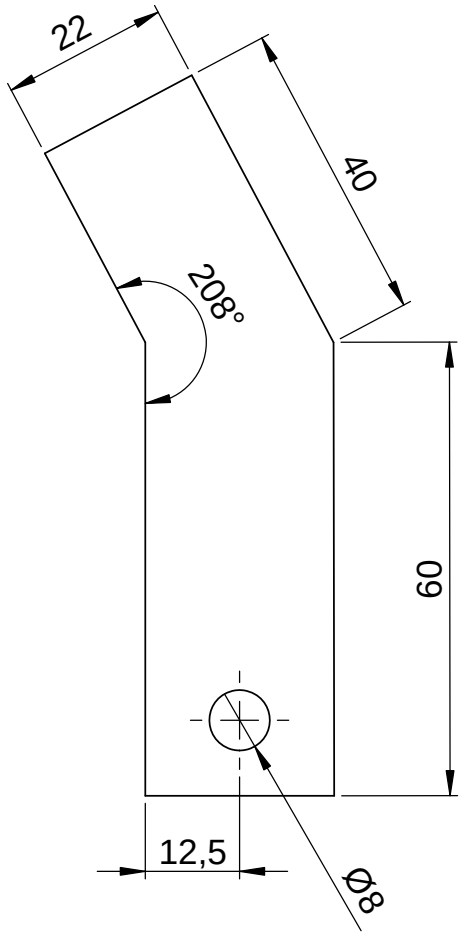


Cotas en mm
Tolerancia dimensional ± 1mm

NOMBRE: ÁLVARO VALDÉS GÓMEZ		PIEZA: MOLDE MITAD DEDO
FECHA: 10/03/2021	ESCALA: 1:1	
CONJUNTO: DEDO		Nº PIEZAS: 5 / Nº PLANO: 14

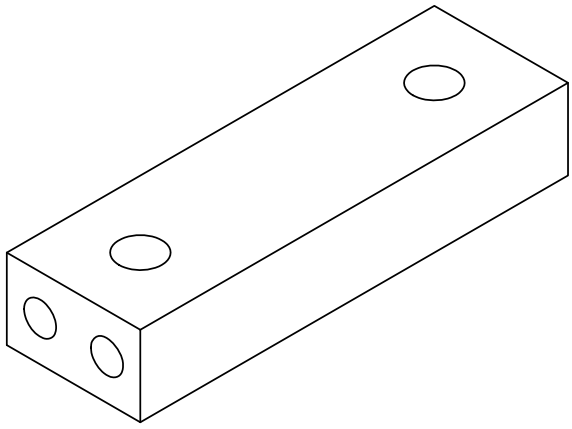


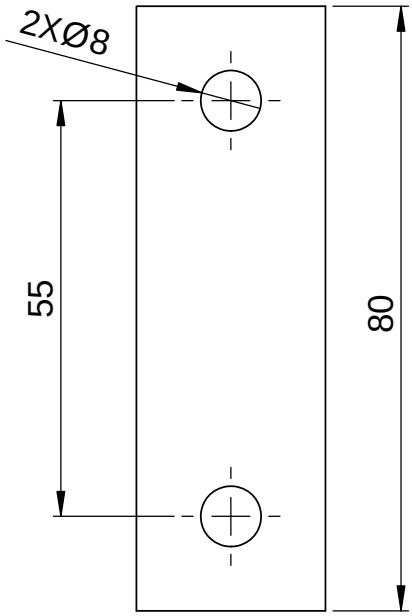


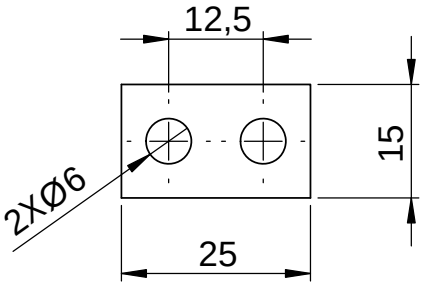


Cotas en mm
Tolerancia dimensional ± 1mm

NOMBRE: ÁLVARO VALDÉS GÓMEZ		**PIEZA:** PUNTA DEDO
FECHA: 10/03/2021	**ESCALA:** 1:1	
CONJUNTO: DEDO		**Nº PIEZAS:** 5 / **Nº PLANO:** 15

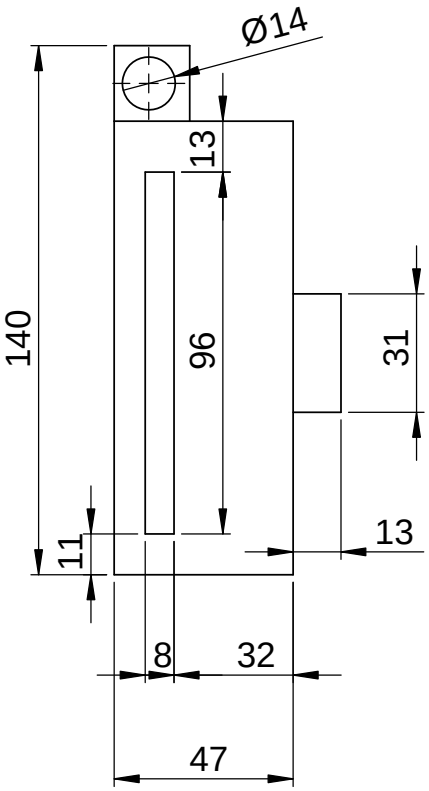


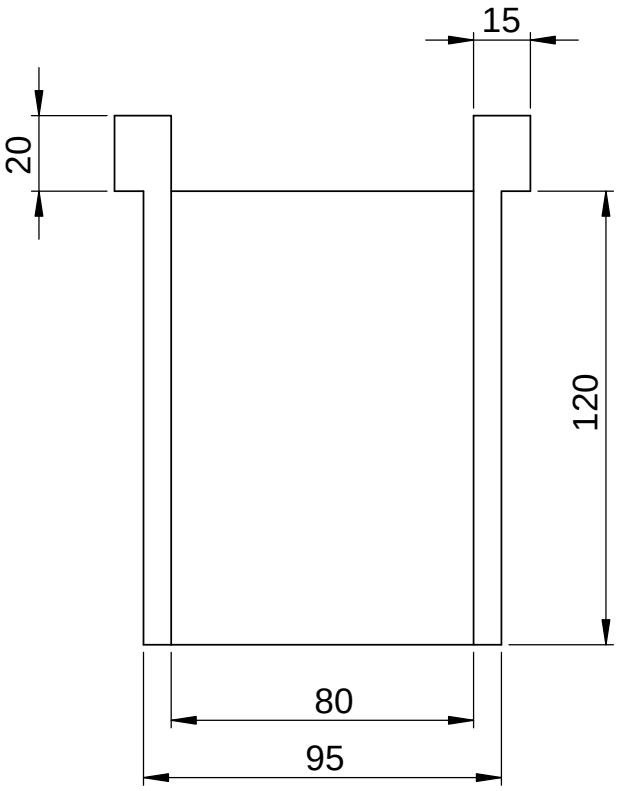


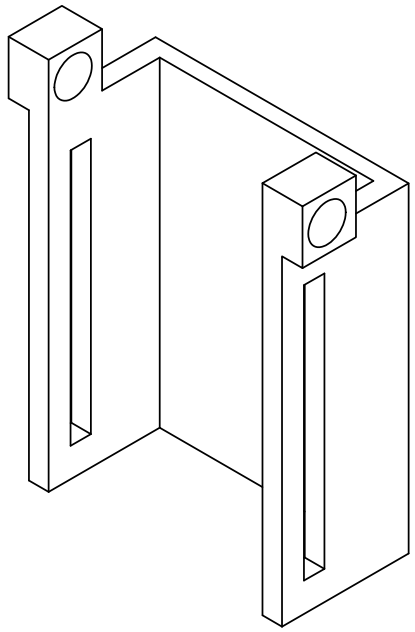


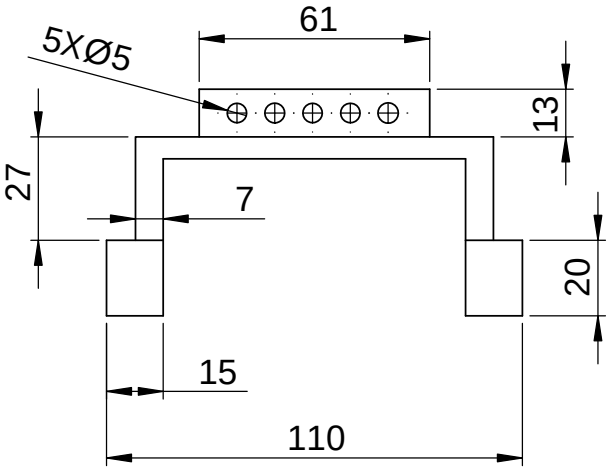
Cotas en mm
Tolerancia dimensional ± 1mm

NOMBRE: ÁLVARO VALDÉS GÓMEZ		**PIEZA:** MITAD DEDO
FECHA: 10/03/2021	**ESCALA:** 1:1	
CONJUNTO: DEDO		**Nº PIEZAS:** 5 / **Nº PLANO:** 16



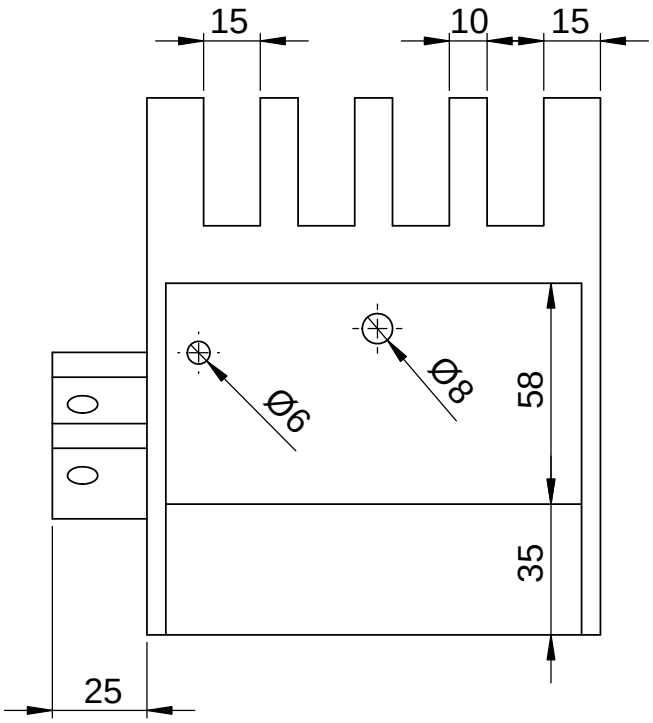


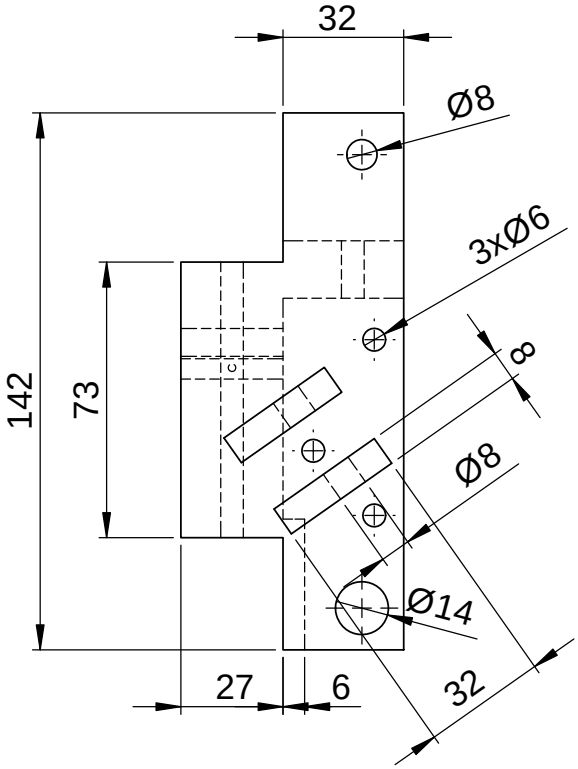


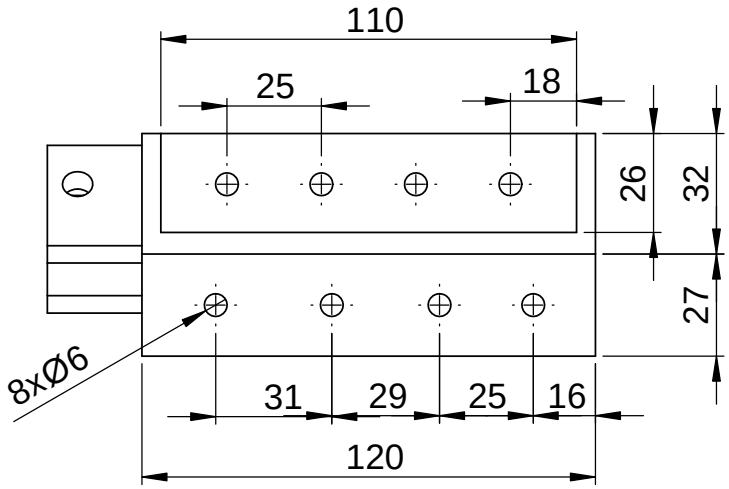


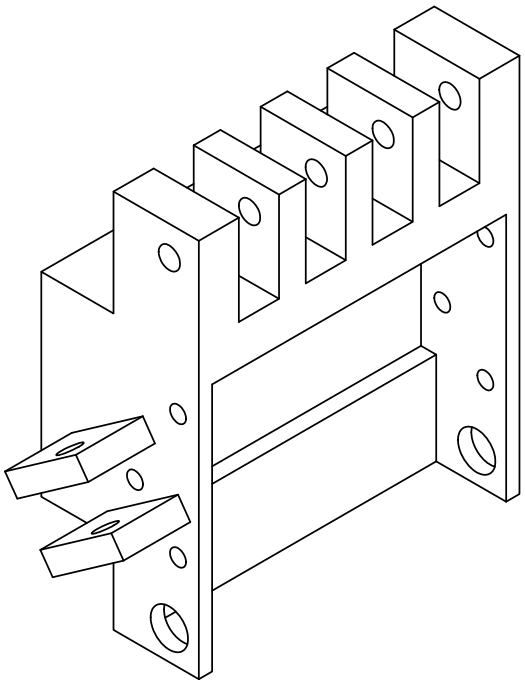
Cotas en mm
Tolerancia dimensional ± 1mm

NOMBRE: ÁLVARO VALDÉS GÓMEZ		PIEZA: BRAZO	
FECHA: 10/03/2021	ESCALA: 1:2		
CONJUNTO: BRAZO		Nº PIEZAS: 1	Nº PLANO: 17





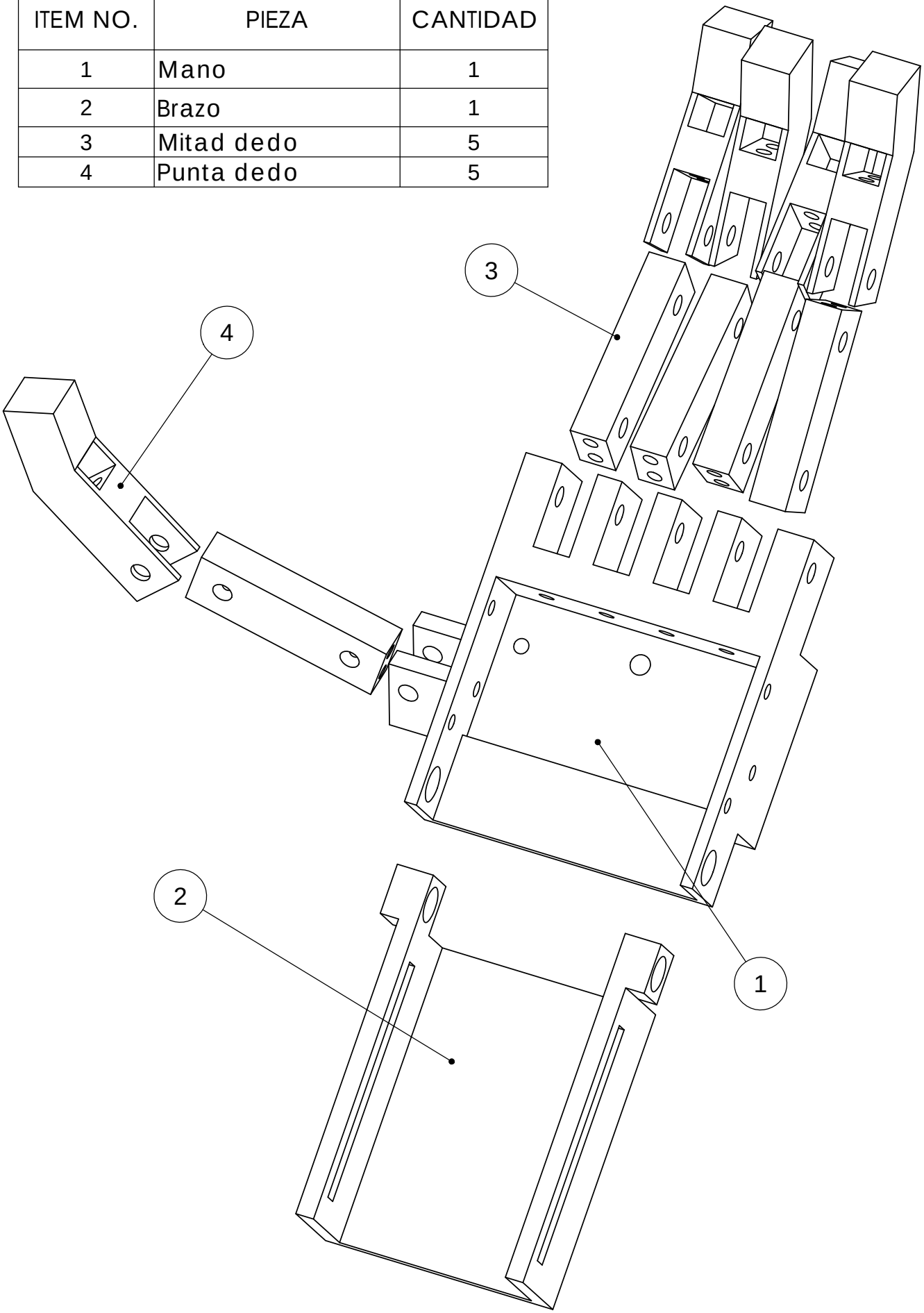




Cotas en mm
Tolerancia dimensional ± 1mm

NOMBRE: ÁLVARO VALDÉS GÓMEZ		PIEZA: MANO
FECHA: 10/03/2021	ESCALA: 1:2	
CONJUNTO: MANO		Nº PIEZAS: 1 / Nº PLANO: 18

ITEM NO.	PIEZA	CANTIDAD
1	Mano	1
2	Brazo	1
3	Mitad dedo	5
4	Punta dedo	5



FECHA:	ESCALA:	PIEZA:	
10/03/2021	1:2	PRÓTESIS DE MANO	
NOMBRE: ÁLVARO VALDÉS GÓMEZ		Nº PIEZAS: 1	Nº PLANO: 19