



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

**Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo
de Producto**

**PROTOTIPADO DE UN POSICIONADOR DE
MUÑECA Y MANO PARA LA FABRICACIÓN DE
ORTESIS AVANZADAS**

Autor:

Álvarez Dehesa, Rodrigo

Tutor:

Mansilla Gallo, Alberto

Dpto. CMelM/Ingeniería Mecánica

En Valladolid, Julio de 2022

RESUMEN

Las alteraciones musculares que el ser humano puede padecer a lo largo de su vida son numerosas, por ello, el continuo avance de las tecnologías a lo largo de los años hace necesaria la tarea de intentar innovar en los tratamientos y rehabilitaciones a seguir.

Este trabajo estudia una manera de corregir las alteraciones que se producen en el miembro superior del cuerpo humano, concretamente en las zonas de la mano, la muñeca y el antebrazo. Se analizan los movimientos de dichos miembros del cuerpo humano y se estudian también las alteraciones en pacientes con parálisis cerebral, puesto que estos usuarios, habitualmente suelen padecer deformidades en el miembro superior.

El presente trabajo consiste en el desarrollo de un prototipo que posicione la mano y la muñeca, obteniendo la más óptima postura del usuario, de manera que permita un correcto escaneado y modelado 3D para poder fabricar una ortesis a medida.

PALABRAS CLAVE

Prototipado, posicionamiento, mano-muñeca, ortesis, Impresión 3D.

ABSTRACT

The muscular alterations that the human being can suffer throughout life are numerous, which is why the continuous technological development in the past few years makes it necessary to try to innovate with the treatments and rehabilitation therapies to follow.

This paper studies a way of amending the alterations that occur in the upper body of the human body, specifically in the hands, wrists and forearm areas. The movement of these parts is analysed as well as the alterations in patients with cerebral palsy, given that these users often suffer from upper body deformations.

This paper consists of the development of a prototype that can position the hand and the wrist, yielding the optimum posture of the user, allowing a proper scan and 3D model that aids the creation of tailored orthotics.

KEYWORDS

Prototyping, positioning, hand-wrist, orthotics, 3D printing.

Índice

Introducción, objetivos y estructura del trabajo	10
- Introducción	10
- Objetivos	11
- Estructura del trabajo	12
Capítulo 1. Nociones básicas	14
1.1. Parálisis cerebral, alteraciones de antebrazo, muñeca y dedos.	14
1.2. Análisis de movilidad y grados de libertad de la mano.	18
1.2.1. Concepto de mano humana.	18
1.2.2. Estudio de los grados de libertad de la mano y muñeca humanas.	19
1.2.3. Estudio de los límites angulares de la mano y muñeca humanas.	23
1.3. Estado de la técnica, estudio de herramientas similares.	26
1.4. Escáner 3D y modo de escaneo.	31
1.5. Fabricación mediante impresión 3D.	32
Capítulo 2. Primeras ideas, bocetos y prototipos.	34
2.1. Definición de la necesidad.	34
2.2. Primeras ideas y bocetos.	34
2.3. Conclusiones sobre las primeras ideas, bocetos y prototipos.	41
Capítulo 3. Diseño del prototipo final.	42
3.1. Definición de la necesidad.	42
3.2. Propuesta del prototipo final.	43
3.2.1. Elección de los elementos comerciales.	45
3.2.2. Diseño de piezas a fabricar por impresión 3D.	47
3.3. Parámetros utilizados en el proceso de impresión 3D.	58

Capítulo 4. Montaje del prototipo. _____	60
4.1. Ensamblaje por piezas. _____	60
4.2. Ensamblaje de la estructura completa. _____	71
Capítulo 5. Posicionado y escaneado. _____	72
5.1. Posicionado de mano y muñeca. _____	72
5.2. Escaneado del brazo, mano y muñeca. _____	73
Conclusiones. _____	76
Bibliografía. _____	78
Anexo I. Elementos comerciales. _____	82
Anexo II. Planos de las piezas diseñadas. _____	92

Índice de figuras

- Figura 1. Mano de recién nacido con posición del pulgar en aducción. [6]
- Figura 2. Muñeca en flexión de paciente con parálisis cerebral. [5]
- Figura 3. Muñeca con desviación cubital de paciente con parálisis cerebral. [5]
- Figura 4. Cara dorsal y palmar de la mano. [7]
- Figura 5. Movimientos de extensión y flexión, aducción y abducción del pulgar. [7]
- Figura 6. Movimiento de aducción y abducción del dedo medio. [7]
- Figura 7. Movimientos de pronación y supinación de la mano. [7]
- Figura 8. Movimientos de la muñeca. [9]
- Figura 9. Articulaciones del dedo pulgar. Adaptada de [7]
- Figura 10. Movimientos de las articulaciones de los dedos índice, anular, medio y meñique. [7]
- Figura 11. a) Límites flexión/extensión de la muñeca. b) Límites aducción/abducción de la muñeca. Adaptadas de [7].
- Figura 12. a) Límites flexión/extensión de un dedo. b) Límites de abducción de los dedos. [7]
- Figura 13. Movimientos del dedo pulgar. [7]
- Figura 14. Posicionador de brazo. [11]
- Figura 15. Posicionador de muñeca. [12]
- Figura 16. Ortesis de muñeca ajustable. [13]
- Figura 17. Ortesis de dedo. [14]
- Figura 18. Ortesis de muñeca y dedo. [15]
- Figura 19. a) Adhesivos de marcadores b) Ejemplo de adhesivos colocados sobre una pieza a modelar. [17]
- Figura 20. Elementos en la impresión 3D por FDM. [18]
- Figura 21. Bobina de 1Kg de material PLA azul. [19]
- Figura 22. Boceto del posicionador de muñeca con actuadores.

Figura 23. Ejemplo ubicación actuadores palma de la mano.

Figura 24. Ejemplo ubicación actuadores lateral de la mano.

Figura 25. Boceto del posicionador de dedos con deslizadera.

Figura 26. Ejemplo gráfico del modelo con rótula.

Figura 27. Ejemplo gráfico de la rótula posicionando la muñeca.

Figura 28. Gráfico con los sólidos libres del posicionado de muñeca.

Figura 29. Sistema compuesto por 3 sólidos libres.

Figura 30. Ejes de movimiento de la muñeca coincidentes. Adaptado de [6]

Figura 32. Modelado 3D en Catia V5 para el primer prototipo.

Figura 34. Variación en el diseño de la deslizadera.

Figura 35. Prototipo fabricado en PLA por impresión 3D.

Figura 36. Diseño bocetado del prototipo final (Parte 1).

Figura 37. Diseño bocetado del prototipo final (Parte 2).

Figura 38. Trípode comercial de la marca Manfrotto. [20]

Figura 39. Guía o perfil cuadrado de aluminio. [21]

Figura 40. Brazo articulado comercial de la marca Manfrotto. [20]

Figura 41. Rótula de bola comercial de la marca Manfrotto. [20]

Figura 42. Diseño de la pieza de unión de trípode.

Figura 43. Diseño del cuerpo del prototipo.

Figura 44. Diseño de la sujeción de la guía.

Figura 45. Diseño del reposabrazos delantero (zona superior) y trasero (zona inferior).

Figura 46. Diseño de la sujeción derecha e izquierda de los brazos articulados.

Figura 47. Diseño del posicionador de palma.

Figura 48. Diseño de la zapata para rótula.

Figura 49. Diseño del posicionador lateral de palma.

Figura 50. Diseño del posicionador de pulgar.

Figura 51. Diseño del posicionador de dedos.

Figura 52. Diseño de la deslizadera.

Figura 53. Diseño de las tapas para la guía.

Figura 54. Tabla de parámetros de impresión en Ultimaker Cura.

Figura 55. Piezas constituyentes de la unión del cuerpo y la sujeción de trípode.

Figura 56. Colocación del cuerpo con la pieza de sujeción del trípode.

Figura 57. Ensamblaje del cuerpo y la pieza de sujeción del trípode.

Figura 58. Montaje del primer ensamblaje al trípode.

Figura 59. Unión de la sujeción de la guía al cuerpo.

Figura 60. Montaje de los reposabrazos.

Figura 61. Ensamblaje de la guía

Figura 62. Ensamblaje de los reposabrazos.

Figura 63. Montaje de la sujeción de brazos.

Figura 64. Unión de los brazos articulados.

Figura 65. Ensamblaje del posicionador de palma.

Figura 66. Ensamblaje del posicionador de dedos.

Figura 67. Montaje de la deslizadera.

Figura 68. Ensamblaje de rótula, zapata y posicionadores de pulgar y palma.

Figura 69. Colocación de las tapas de la guía.

Figura 70. Ensamblaje por pasos de la estructura completa.

Figura 71. Pasos 1 y 2 posicionado de mano y muñeca.

Figura 72. Pasos 3 y 4 posicionado de mano y muñeca.

Figura 73. Pasos 5 y 6 posicionado de mano y muñeca.

Figura 74. Escaneado del brazo, mano y muñeca y modelo 3D obtenido.

Figura 75. Manija comercial de sujeción. [23]

Figura 76. Perilla de estrella comercial. [22]

Figura 77. Elementos normalizados (tornillo y tuercas).

Figura 78. Escáner 3D de la marca Shining 3D. [16]

Introducción, objetivos y estructura del trabajo.

- **Introducción**

Con el paso de los años, los avances en medicina han permitido identificar nuevas enfermedades o alteraciones en el cuerpo del ser humano, algunas de las cuales suponen una pérdida en cuanto a la movilidad de las articulaciones. Un tipo de trastornos identificado como parálisis cerebral, afecta al cerebro en sus principales funciones del sistema nervioso, lo que puede llegar a afectar en el movimiento y control de los músculos durante toda la vida de una persona. Este tipo de deformidades que se originan por diversas enfermedades, unidas a cualquier pérdida de movilidad por causas naturales o accidentales deben ser tratadas adecuadamente para obtener una mejoría o resultado satisfactorio.

Estos problemas de movilidad se pueden tratar mediante fisioterapia, medicamentos, nutrición especial, cirugía o mediante el uso de ortesis u otros aparatos ortopédicos, este último es el tratamiento que puede ofrecer una mayor innovación gracias a las tecnologías emergentes.

Al igual que los avances médicos permiten identificar la aparición de nuevas enfermedades o alteraciones, los avances en tecnología también son notables y por ello se hace necesaria la tarea de aprovechar la tecnología disponible y aplicarla en el campo de la medicina innovando así los tratamientos y rehabilitaciones actuales.

Hoy en día, los programas de realidad aumentada están dando grandes saltos tanto en calidad como en nuevas técnicas y softwares que van incorporando. El escáner 3D por nube de puntos [1] ya es una herramienta más en muchos sectores puesto que esta tecnología representa en el modelado 3D la opción más rápida, avanzada y precisa para la obtención de datos, mediciones, cálculo de volúmenes y modelos en 3D.

También se ha producido una gran mejora en cuanto a los procesos avanzados de fabricación que incluyen nuevas tecnologías y nuevos materiales, muchos de ellos ya utilizados en el campo de la medicina. Ejemplo de ello son las máscaras faciales y cascos de protección y una gran variedad de prótesis u ortesis empleadas en rehabilitaciones, muchos de ellos fabricados a partir de modelos 3D en materiales menos costosos, más fáciles de obtener e incluso materiales reciclados.

Es por ello que con la aparición de estos avances se hace necesaria la investigación de su posible aplicación a la medicina, por ejemplo, mediante el escaneado de cualquier parte del cuerpo humano, se podrá obtener un modelo con gran detalle a partir del cual se podrán conseguir los datos y cálculos

necesarios para realizar, por ejemplo, el diseño de implantes, prótesis u ortesis individualizadas en cada usuario.

Así pues, además de poder fabricar los principales elementos a utilizar en las rehabilitaciones o tratamientos médicos, se abre la posibilidad de fabricar sistemas o prototipos que permitan la utilización de la última tecnología, este es el caso del presente proyecto, que se centrará en la creación y desarrollo de un prototipo que permita posicionar la mano y la muñeca de ambas extremidades para obtener el posicionado más óptimo, y tras ser escaneado, permita obtener una ortesis avanzada o individualizada que permita mejorar la rehabilitación del usuario.

- **Objetivos**

El presente trabajo se centrará en diseñar una herramienta que permita conseguir el posicionado más óptimo que cada usuario permita dentro del grupo de músculos que abarcan los miembros superiores, concretamente la mano y la muñeca.

Así pues, el objetivo de este trabajo consiste en plantear, diseñar, construir y probar, buscando previamente una base en diseños de modelos y prototipos existentes e incluyendo en dicha construcción la tecnología de impresión 3D, una herramienta médica que permita obtener un mejor posicionado de muñeca y mano en pacientes que sufren alguna alteración o deformidad, para conseguir el diseño más óptimo de una ortesis individualizada, la cual permitirá una mejor rehabilitación muscular o articular del paciente.

El último paso a realizar será la comprobación de los resultados obtenidos mediante el análisis del modelo 3D del antebrazo, mano y muñeca de un usuario tras haber sido previamente posicionado.

- Estructura del trabajo

Primeramente, se estudiarán los movimientos y grados de libertad que ofrece tanto la muñeca como la mano, además de las alteraciones más habituales que presentan las personas con parálisis cerebral, de forma que se puedan caracterizar sus principales alteraciones y grados de desviación para poder diseñar un prototipo que permita corregir dichas alteraciones, ofreciendo una mejora en los posibles grados de deformación. A continuación, se realizará un estudio del estado de la técnica para analizar modelos y prototipos ya existentes que puedan aportar una base a mejorar o puedan aportar ideas a combinar para diseñar una herramienta de mayor calidad.

Posteriormente, se realizará un diseño del prototipo, con su descripción técnica y caracterización de cada uno de los elementos que lo componen, tanto de los elementos comerciales utilizados como los elementos diseñados con el software de modelado 3D Catia V5, estos últimos se detallarán en sus correspondientes planos.

Por último, se obtendrán los elementos comerciales mediante su compra al proveedor y se materializarán los elementos diseñados en 3D mediante su impresión en tecnología FDM o Modelado de Deposición Fundida, para su posterior ensamblaje y construcción del prototipo diseñado. Lo que dará paso al escaneado y modelado 3D que permitirá sacar las conclusiones del proyecto.

Capítulo 1. Nociones básicas.

El primer capítulo abarca primeramente un ligero estudio de los usuarios con parálisis cerebral, conociendo así las alteraciones más habituales y por qué se producen. Seguidamente se realizará un análisis de los movimientos que permite tanto la mano como la muñeca, estudiando todos sus grados de libertad y los límites de desviación. También se incluye un análisis del estado de la técnica y una breve descripción del tipo de impresión 3D a utilizar y del procedimiento de escaneado.

1.1. Parálisis cerebral, alteraciones de antebrazo, muñeca y dedos.

Para estudiar las alteraciones que pueden sufrir los usuarios con parálisis cerebral se plantean las siguientes cuestiones:

- ¿Qué es la parálisis cerebral?

La parálisis cerebral [2] es una afectación no progresiva del sistema nervioso central que causa manifestaciones a nivel periférico dependiendo del área cerebral afectada. Esta ocurre en uno a seis de cada mil bebés recién nacidos provocando una disfunción motora, sensitiva y mental.

La manifestación más frecuente es la espasticidad generalizada que provoca deformidades articulares secundarias. Es más frecuente en nacimientos prematuros o cuando existe un sufrimiento del feto, aunque también existen casos de aparición más tardía.

Este trabajo estudiará únicamente la afección espástica de la parálisis cerebral.

- ¿Cómo se clasifica la espasticidad? [3]

Según la manera en que afecte a los miembros del cuerpo puede ser:

- Monoplejía (afecta a un solo miembro)
- Espasticidad diplejía (afecta a ambas piernas)
- Hemiplejía (afecta a brazo y pierna ipsilateral o del mismo lado)
- Triplejía (afecta a tres miembros)
- Tetraplejía (afecta a los cuatro miembros)

En el caso del estudio a realizar (estudio del antebrazo, muñeca y dedos), se clasificará en espasticidad monoplejía.

- ¿Cómo se manifiesta la espasticidad en los miembros superiores? [4]

La afectación del sistema nervioso central puede manifestarse de dos maneras:

- La mayor parte de los pacientes presentan un cuadro caracterizado por espasticidad o aumento del tono muscular, reflejos hiperactivos, contracciones musculares involuntarias y rítmicas, contracturas musculares y debilidad o lentitud de las acciones voluntarias.
- Otros pacientes, contrariamente, presentan atetosis (movimientos continuos involuntarios de las manos), temblores, ataxia (movimientos desordenados e irregulares de las manos) y distonía (contractura muscular involuntaria y persistente, que da lugar a posturas anómalas o movimientos repetitivos de torsión de mano y dedos).

- ¿Qué deformidades pueden presentarse en las zonas a estudiar del miembro superior espástico? [4]

- En los dedos: contractura del pulgar contra la palma de la mano, contractura de los dedos en flexión (posición de puño), deformidades de los dedos centrales (cuello de cisne).
- En la muñeca: desviación palmar y cubital, con incapacidad para la extensión de la muñeca.
- En el antebrazo: contractura en pronación (con la palma la mano hacia abajo).

- ¿Por qué es necesario tratar la espasticidad del miembro superior y qué opciones hay? [4]

El tratamiento del miembro superior espástico permite mejorar la apariencia de la mano, disminuye el estigma social de la espasticidad y mejora la funcionalidad de la mano.

Existen dos tipos de tratamientos del miembro superior espástico, uno conservador y otro quirúrgico. El tratamiento conservador suele ser complementario del quirúrgico y se debe comenzar a realizar desde edades tempranas, de forma continua con el apoyo de profesionales.

Entre las opciones de tratamiento conservador se encuentran:

- Ejercicios de estiramiento y fuerza
- Yesos correctores
- Toxina botulínica (produce parálisis muscular)
- Medicación anti-espasticidad
- Inmovilizaciones y férulas u ortesis

Este trabajo se centrará en el tratamiento mediante inmovilizaciones y férulas u ortesis.

- ¿De las posibles alteraciones, cuáles son las más habituales?
[5]

Según la especialista en parálisis cerebral Gloria Pomares García, las alteraciones más habituales en la mano de un niño con parálisis cerebral son las siguientes:

- Alteración del pulgar en aducción:

El dedo pulgar queda atrapado dentro del puño, esto dificulta mucho la manipulación y exploración del entorno por parte del afectado.



Figura 1. Mano de recién nacido con posición del pulgar en aducción. [6]

- Muñeca en flexión:

La musculatura flexora tiene un aumento del tono respecto a la musculatura extensora, lo que termina favoreciendo la deformidad de la muñeca en flexión.



Figura 2. Muñeca en flexión de paciente con parálisis cerebral. [5]

- Desviación cubital de la mano:

Otra alteración frecuente es la desviación cubital de muñeca y mano.



Figura 3. Muñeca con desviación cubital de paciente con parálisis cerebral. [5]

1.2. Análisis de movilidad y grados de libertad de la mano.

Antes de comenzar a diseñar el posicionador de muñeca y mano se hace necesaria la tarea de analizar y estudiar todos los posibles movimientos y grados de libertad que existen en la muñeca y mano humanas, para poder así, diseñar un prototipo que permita restringir dichos grados de libertad obteniendo el posicionamiento más óptimo que se pueda conseguir de estas partes del cuerpo humano.

Así pues, se identificarán y analizarán los distintos movimientos de la muñeca y de los dedos de la mano, así como sus limitaciones angulares para poder definir el prototipo de posicionamiento.

1.2.1. Concepto de mano humana.

La mano es uno de los órganos más importantes del cuerpo humano, puesto que permite la mejor interacción física con los objetos. La mano se sitúa en la parte final de las extremidades superiores del cuerpo humano y abarca desde la muñeca hasta la yema de los dedos.

La morfología de la mano se puede dividir en tres zonas:

- La muñeca o carpo: es la zona que une la palma al brazo.
- La palma o metacarpo: en esta zona comienza la aparición de las falanges de la mano y puede dividirse en las caras palmar y dorsal.
- Los dedos: son la parte final o terminación de la mano, en total hay cinco dedos que son llamados: pulgar, índice, medio, anular y meñique.

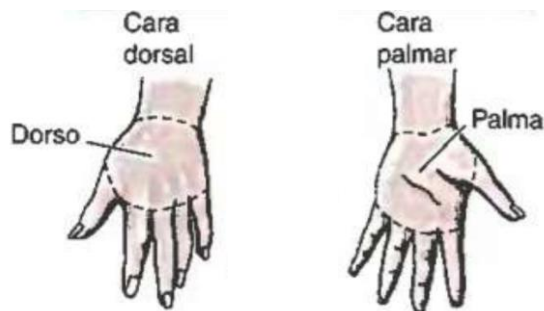


Figura 4. Cara dorsal y palmar de la mano. [7]

1.2.2. Estudio de los grados de libertad de la mano y muñeca humanas.

Los grados de libertad, GDL, se refieren al movimiento que cada articulación puede realizar de manera independiente y que da como resultado una posición particular de dicha articulación. Adaptado de [8].

Así pues, los grados de libertad definen la capacidad de movimiento de traslación y rotación en los tres ejes perpendiculares del espacio permitiendo un máximo de 6 GDL por eje.

Algunos movimientos de rotación de la mano presentan nombres específicos:

- Flexión y extensión
- Abducción y aducción
- Pronación y supinación

Estos movimientos se detallan gráficamente en las siguientes imágenes:



Figura 5. Movimientos de extensión y flexión, aducción y abducción del pulgar. [7]

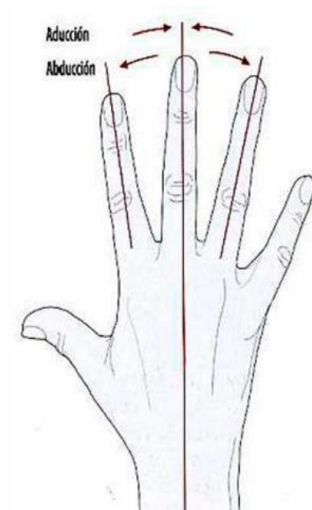


Figura 6. Movimiento de aducción y abducción del dedo medio. [7]

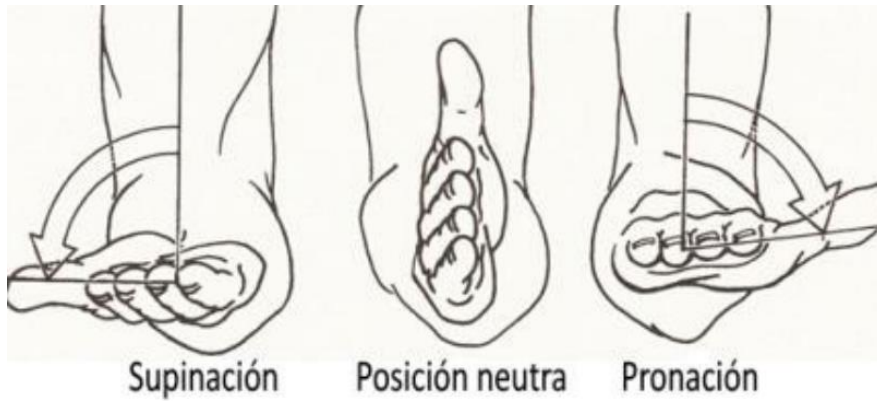


Figura 7. Movimientos de pronación y supinación de la mano. [7]

Grados de libertad de la muñeca:

En la muñeca podemos encontrar los movimientos de flexión/extensión y aducción y abducción a los que se puede sumar el movimiento de pronación/supinación que aportan los músculos del brazo, ver figuras 7 y 8.

Así pues, podemos otorgar 3 GDL a la muñeca.



Figura 8. Movimientos de la muñeca. Adaptado de [9].

Grados de libertad de la mano:

Los grados de libertad de la mano son los que aportan los dedos, hay que diferenciar el movimiento del pulgar de los otros cuatro dedos.

El dedo pulgar aporta un total de 5 GDL [7] como podemos ver en la figura 9: el primer GDL que encontramos es la flexión que produce la articulación TE o trapezoescafoidea en la articulación TM o trapeciometacarpiana y en la articulación MF o metacarpofalángica encontramos dos GDL de flexión/extensión y abducción/aducción, por último, hay un GDL de flexión/extensión en la articulación IF o interfalángica.

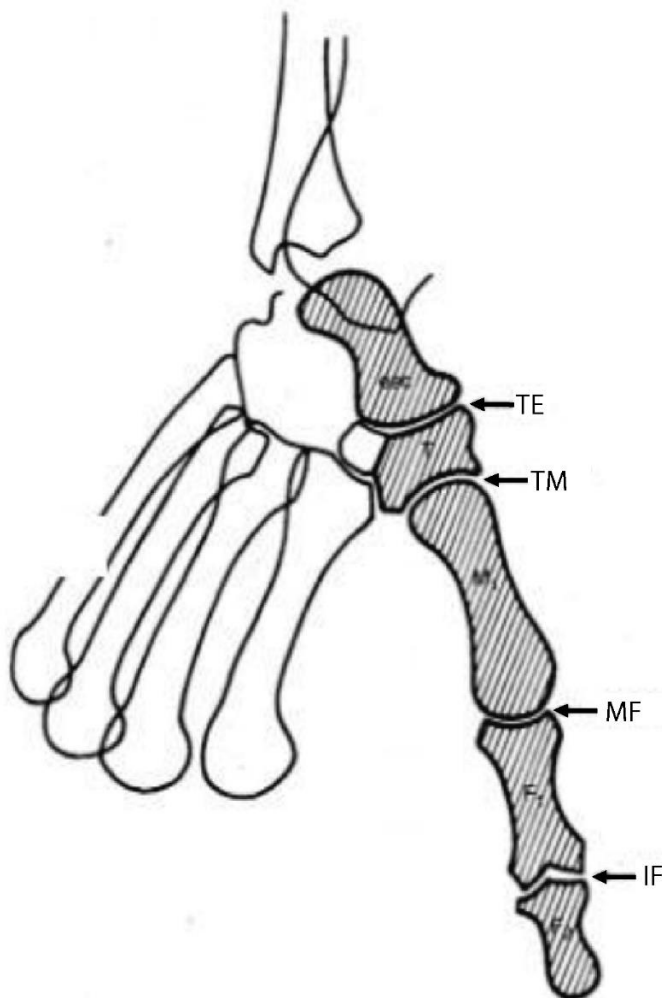


Figura 9. Articulaciones del dedo pulgar. Adaptado de [7].

Cada uno de los cuatro dedos largos, o los que no son el pulgar, aporta un total de 4 GDL [8], en la primera articulación de cada uno de estos dedos se encuentran 2 GDL, el de flexión/extensión y el de aducción/abducción, en cada una de las dos articulaciones que restan se presenta otro GDL de flexión/extensión, como se puede apreciar en la figura 10.

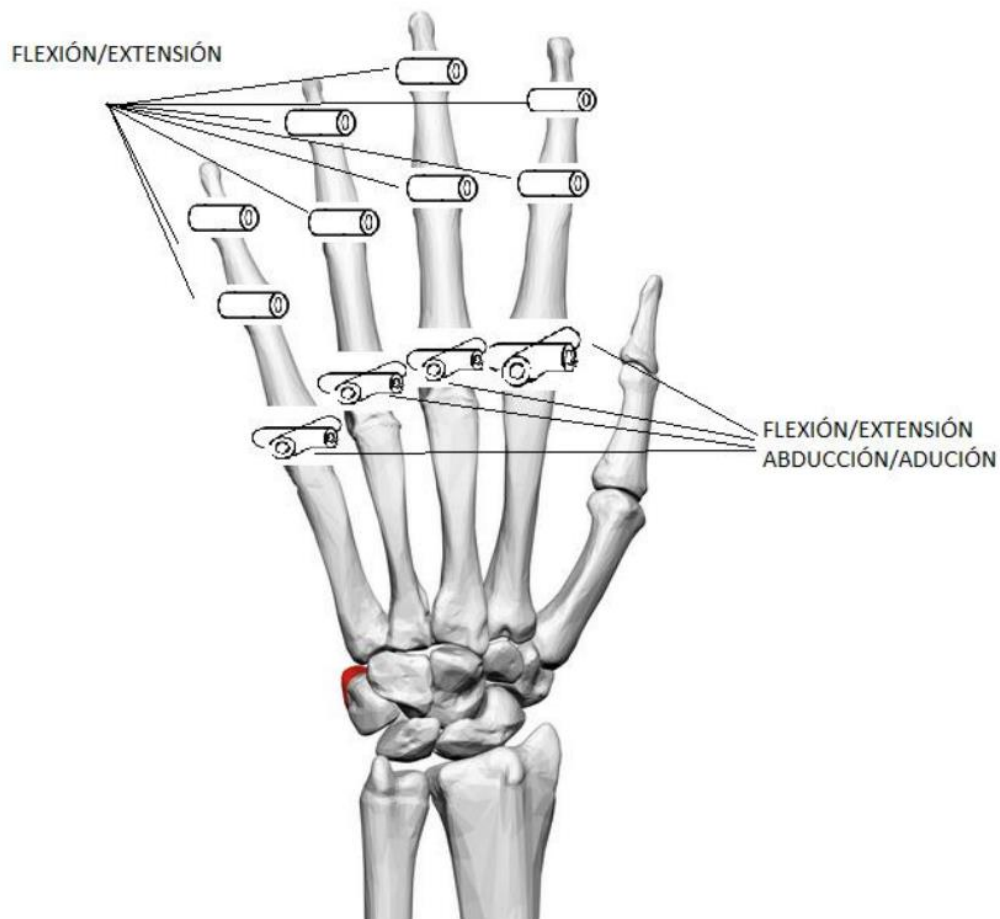


Figura 10. Movimientos de las articulaciones de los dedos índice, anular, medio y meñique. [7]

Tras este análisis se puede contar con que la mano humana dispone de un total de 24 GDL, los cuales definen la posición de la mano en cualquiera de sus posibles posiciones.

También se analizarán los límites angulares que permiten los movimientos estudiados, es decir, los arcos de movilidad que puede recorrer la mano humana. Estos representan los límites que la mano puede alcanzar sin llegar a producirse una lesión.

1.2.3. Estudio de los límites angulares de la mano y muñeca humanas.

Límites angulares de la muñeca: [10]

La muñeca presenta dos límites angulares en sus dos movimientos de traslación: [7]

- En el movimiento de flexión/extensión la muñeca abarca un arco de movilidad de 150° , puede llegar a flexionarse hasta 70° y extenderse hasta 80° partiendo de una posición inicial de la mano alineada con el eje que representa el brazo estirado. Ver figura 11 a).
- En el movimiento de aducción/abducción la muñeca abarca un arco de movilidad de 50° , permite una desviación radial o hacia dentro, de 20° y una desviación cubital o hacia afuera, de 30° partiendo de una posición inicial de la mano alineada con el eje que representa el brazo estirado. Ver figura 11 b).

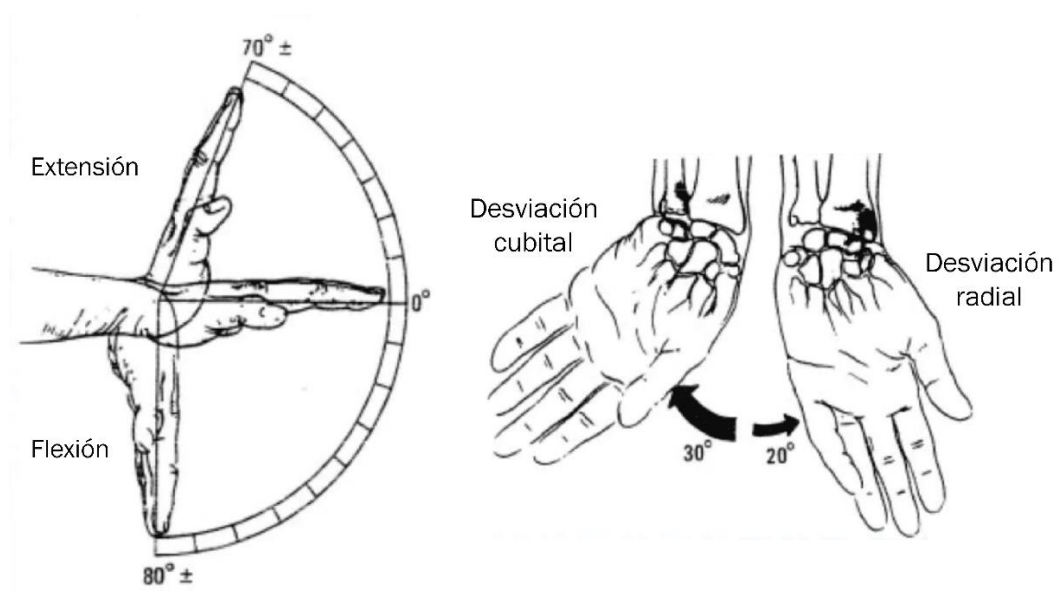


Figura 11. a) Límites flexión/extensión de la muñeca. b) Límites aducción/abducción de la muñeca. Adaptado de [7].

Límites angulares de los dedos:

Los límites que presentan las tres articulaciones de los dedos, exceptuando el dedo pulgar, son los siguientes: [8]. Ver figura 12.

- La articulación más próxima a las yemas de los dedos presentan una flexión de 90° y una extensión de 10° .

- La articulación del medio presenta una flexión de 110° y una extensión de 0° .
- La articulación ubicada en los nudillos de la mano presenta una flexión de 90° y una extensión de 30° - 40° .
- Los límites de abducción entre cada dedo son unos 20° y el límite de aducción lo marca el choque de unos dedos con otros.

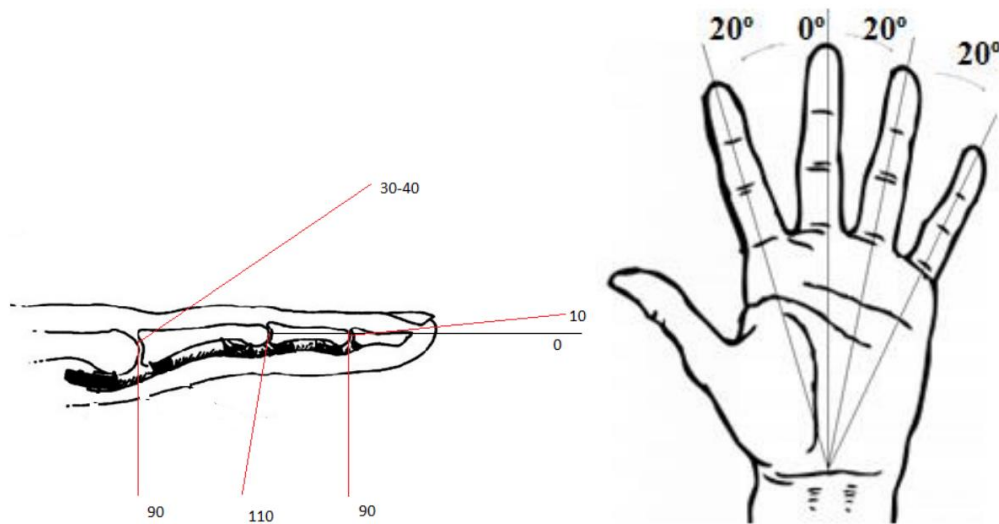


Figura 12. a) Límites flexión/extensión de un dedo. b) Límites de abducción de los dedos. [7].

Límite angular del dedo pulgar: [7]

Los límites que presenta el dedo pulgar abarcan un rango más amplio al contar con nuevos tipos de movimiento con respecto al resto de dedos de la mano: [5]

- Su articulación MF, ver figura 9, presenta un movimiento de flexión de 90° y un movimiento de extensión de 30° .
- Su movimiento de aducción permite llegar a contactar el dedo contiguo y su movimiento de abducción puede alcanzar los 60° .
- La articulación IF se puede flexionar entre 45° - 80° y oponerse 120° .
- Con la palma de la mano colocada horizontalmente el pulgar puede abducirse hasta los 70° .

Podemos observar todos estos movimientos en la figura 13.

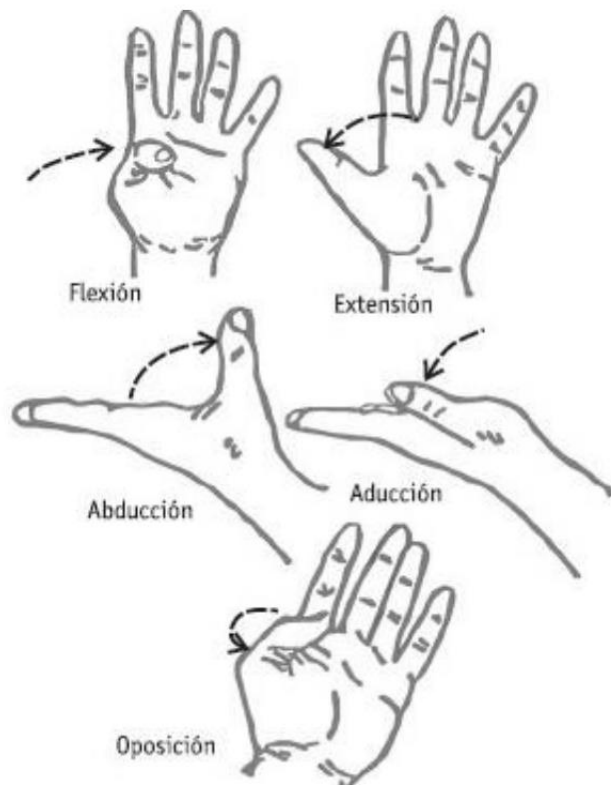


Figura 13. Movimientos del dedo pulgar. [7]

Como se ha podido observar, la mano humana es un instrumento muy complejo y a su vez completo, que otorga al ser humano una amplia variedad de movimientos para poder interactuar con el medio físico.

Por todo esto, se hace de gran importancia el hecho de seguir avanzando con las nuevas tecnologías para intentar que todo ser humano con cualquier alteración o lesión de la mano pueda corregirla o repararla para conseguir su correcto funcionamiento.

1.3. Estado de la técnica, estudio de herramientas similares.

Otra tarea necesaria, previa al comienzo del diseño del posicionador de muñeca y mano consiste en realizar un estudio del estado de la técnica o de herramientas cuya función tenga similitud con la del nuevo prototipo a desarrollar.

Por ello, en el presente capítulo se presenta una descripción de varios posicionadores de muñeca, mano y dedos y se estudia su funcionalidad destacando sus ventajas y desventajas en relación con el objetivo del nuevo prototipo.

1. Posicionador de brazo para silla de ruedas: [11]

Este sistema de posicionado de la marca System, consiste en una espuma viscoelástica que incorpora unas formas curvas que conforman una hendidura para colocar y sujetar el codo y brazo y una forma saliente donde irá situada la palma de la mano.

Este sistema se encuentra adaptado a una silla de ruedas.



Figura 14. Posicionador de brazo. [11]

Las ventajas del posicionador son:

- Comodidad del paciente en cuanto a la sujeción del brazo y al material del soporte.
- Utilización tanto en brazo derecho como izquierdo.

Las desventajas del posicionador son:

- No permite posicionar alteraciones en la muñeca o dedos.
 - No permite un escaneado completo de mano y muñeca.
2. Posicionador de muñeca: [12]

Este modelo de la marca Brunswick está diseñado para restringir los movimientos de la muñeca a la hora de jugar a los bolos. Permite restringir los movimientos de flexión/extensión y de aducción/abducción para conseguir la posición óptima de la muñeca.

El exterior está fabricado en aluminio.



Figura 15. Posicionador de muñeca. [12]

Las ventajas del posicionador son:

- Permite posicionar correctamente la muñeca.
- Modelo cómodo y ligero.

Las desventajas del posicionador son:

- No permite posicionar alteraciones en los dedos.
- No permite un escaneado completo de mano y muñeca.
- Modelo apto solo en mano derecha.

3. Ortesis de muñeca ajustable: [13]

El siguiente modelo se trata de una ortesis de muñeca ajustable con sujeción de los cinco dedos indicada para la rehabilitación de muñeca y mano. Se trata de una sujeción fija de la muñeca que incorpora una

pequeña estructura la cual permite variar la tensión con la que se sujetan, por una parte, el pulgar y por otra los 4 dedos restantes.

La estructura está fabricada en aluminio.

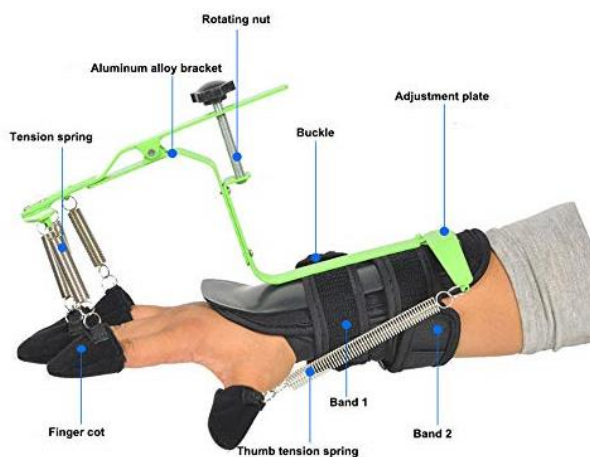


Figura 16. Ortesis de muñeca ajustable. [13]

Las ventajas de la ortesis son:

- Modelo apto en ambas manos.
- Consigue una buena sujeción de muñeca y dedos.

Las desventajas de la ortesis son:

- No permite posicionar alteraciones en la muñeca.
- No permite un escaneado completo de mano y muñeca.
- Estructura aparatosa

4. Ortesis de dedo: [14]

La siguiente ortesis de dedo consiste en una férula dinámica para los dedos de la mano, es una ortesis de mano y muñeca fabricada en un material termoplástico que permite mantener la muñeca y los dedos extendidos permitiendo cierta flexión.



Figura 17. Ortesis de dedo. [14]

Las ventajas de la ortesis son:

- Consigue una buena sujeción de muñeca y dedos.
- Modelo apto en ambas manos.
- Permite posicionar correctamente los dedos.

Las desventajas de la ortesis son:

- No permite posicionar alteraciones en la muñeca.
- No permite un escaneado completo de mano y muñeca.

5. Ortesis de muñeca y dedo: [15]

Se trata de un dispositivo ortopédico con potencia de agarre para la rehabilitación de la fuerza muscular de la muñeca y los dedos. Este es un modelo muy similar a la ortesis de muñeca ajustable (3) ya vista, con la diferencia de que este dispositivo permite variar las distancias donde se posicionan los muelles en la estructura, permitiendo así un mayor rango de posicionamiento en alteraciones de los cinco dedos.



Figura 18. Ortesis de muñeca y dedo. [15]

Las ventajas de la ortesis son:

- Consigue una buena sujeción de muñeca y dedos.
- Modelo apto en ambas manos.
- Permite posicionar alteraciones de los cinco dedos.

Las desventajas de la ortesis son:

- No permite posicionar alteraciones en la muñeca.
- No permite un escaneado completo de mano y muñeca.

Resumen del análisis del estado de la técnica y herramientas similares:

En el estudio de mercado realizado se han visto posicionadores u ortesis de antebrazo completo, de solo muñeca y de muñeca y dedos.

Todos ellos están diseñados para una posible rehabilitación de los miembros del brazo que soportan, salvo el posicionador de muñeca para jugar a los bolos de la marca Brunswick, el cual sí que permite posicionar dos movimientos importantes de la muñeca como son el de flexión/extensión y aducción/abducción.

Sin embargo, el diseño de ninguna de estas herramientas tiene el mismo objetivo que el posicionador que se va a diseñar en este trabajo, esto es debido a que ninguna de ellas permite corregir las alteraciones tanto de los cinco dedos de la mano como de la muñeca del usuario afectado y otro factor en contra de todos estos dispositivos es que ninguno de ellos permite dejar al descubierto la muñeca y dedos para poder realizar su posterior escaneado y modelado en 3D de la posición conseguida.

Es por ello que el prototipo a realizar se trata de una novedad en la consecución del objetivo propuesto, dado que no se ha encontrado nada similar en el mercado que pueda llevar a cabo el objetivo buscado.

1.4. Escáner 3D y modo de escaneo.

Tras conseguir el posicionado más óptimo de la muñeca y mano se procederá a escanear dichas partes del cuerpo para obtener su modelado 3D y poder así, posteriormente fabricar la ortesis a medida.

Escáner 3D:

Como medio de escaneo se utilizará un escáner 3D de mano, concretamente el modelo EinScan-Pro de la marca Shining 3D. [16]

Se ha elegido este modelo puesto que se trata de un escáner 3D de mano cómodo, versátil y rápido que dispone de varios modos distintos de digitalización 3D, en función de las necesidades de precisión y de velocidad que tenga el usuario.

Utiliza tecnología de digitalización 3D basada en luz estructurada y dispone de cuatro modos de escaneado distintos, tanto para objetos grandes como pequeños.

El software de Einscan-Pro es capaz de crear modelos abiertos para ingeniería inversa con un sistema CAD, o bien modelos cerrados listos para imprimir en 3D. Ver especificaciones en Anexo I.

Modo de escaneo:

El modo de escaneo de la mano y muñeca será mediante la digitalización a mano; los miembros a modelar estarán situados sobre un soporte que incorpora varios marcadores o dianas, los cuales permitirán al propio escáner, en caso de perder la geometría debido a movimientos indeseados u otros errores, una recuperación de la posición de la geometría ya escaneada para continuar con el escaneado completo.

Estos marcadores estarán situados sobre la pieza que soportará la estructura del posicionador de muñeca y mano, y se dispondrán de forma que el escáner 3D pueda detectar 3 dianas simultáneamente en las distintas direcciones donde será necesario enfocar con el escáner.



Figura 19. a) Adhesivos de marcadores o dianas. b) Ejemplo de adhesivos colocados sobre una pieza a modelar. [17]

1.5. Fabricación mediante impresión 3D.

El presente proyecto tiene también como objetivo la fabricación de las distintas piezas a diseñar por medio de la impresión 3D; concretamente se fabricarán mediante la extrusión de material utilizando la tecnología FDM o Modelado por Deposición Fundida. Es de vital importancia conocer el funcionamiento de este proceso para poder diseñar adecuadamente las distintas piezas del prototipo.

Modelado por Deposición Fundida (FDM): [18]

El material se extrae a través de una boquilla, donde se calienta y luego se deposita capa por capa. La boquilla se puede mover horizontalmente y una plataforma se mueve hacia arriba y hacia abajo verticalmente después de que se deposita cada nueva capa.

Es una técnica de uso común que se utiliza en muchas impresoras 3D de bajo costo, domésticas y por hobby.

El proceso tiene muchos factores que influyen en la calidad del modelo final, pero tiene un gran potencial y viabilidad cuando estos factores se controlan con éxito. Si bien FDM es similar a todos los demás procesos de impresión 3D, ya que se construye capa por capa, varía en el hecho de que el material se agrega a través de una boquilla a presión constante y en un flujo continuo. Esta presión debe mantenerse estable y a una velocidad constante para permitir resultados precisos.

Las capas de material se pueden unir mediante control de temperatura o mediante el uso de agentes químicos. A menudo, el material se agrega a la máquina en forma de carrete, como se muestra en la siguiente figura.

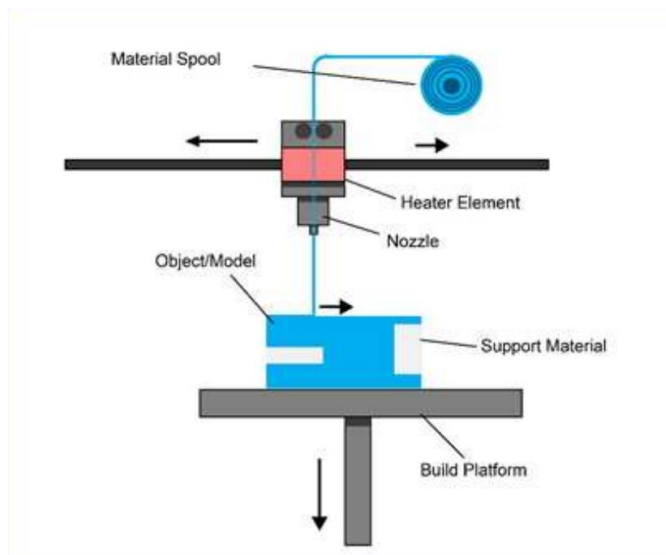


Figura 20. Elementos en la impresión 3D por FDM. [18]

Pasos de la extrusión de material y retirada de la pieza:

1. La primera capa se construye a medida que la boquilla deposita material donde sea necesario en el área de la sección transversal del primer corte del objeto.
2. Las siguientes capas se agregan sobre las capas anteriores.
3. Las capas se fusionan al depositarse ya que el material está en estado fundido.
4. Cuando finaliza la extrusión se deja enfriar la pieza para retirarla de la mesa u otro soporte.

Ventajas e inconvenientes del FDM: [18]

Ventajas:

- Es un proceso económico y generalizado
- Se puede utilizar una gran variedad de materiales y plásticos como el ABS, que tiene buenas propiedades estructurales y es de fácil acceso.

Inconvenientes:

- El radio de la boquilla limita el diseño reduciendo la calidad final.
- Los parámetros de precisión y velocidad son bajos en comparación con otros procesos y la precisión del modelo final se condiciona al grosor de la boquilla extrusora del material.
- El material debe tener una presión constante para poder aumentar la calidad del acabado.

Materiales que permite utilizar FDM:

Esta tecnología de impresión 3D permite el proceso de extrusión de materiales polímeros y plásticos.

Algunos ejemplos pueden ser: ABS, PLA, nylon y PC entre muchos otros.



Figura 21. Bobina de 1Kg de material PLA azul. [19]

Capítulo 2. Primeras ideas, bocetos y prototipos.

2.1. Definición de la necesidad.

El comienzo del presente trabajo se basó en torno a la idea de conseguir un correcto posicionado de mano y muñeca a partir de un sistema que fuese sencillo y liviano, es decir, que resultase fácil de utilizar y no incorporase estructuras o elementos que abarcasen una gran superficie de las zonas a escanear.

Por ello se partió de una primera idea de posicionamiento en base a la utilización de actuadores, esto se trata de utilizar pequeños elementos o estructuras móviles que permiten fijar los distintos grados de libertad tanto de la mano como de la muñeca analizados en el Capítulo 1.

2.1. Primeras ideas y bocetos.

A continuación, se presentan las primeras ideas con sus bocetos:

1. Posicionador de muñeca con actuadores:

La primera idea consiste en una estructura compuesta por un soporte para apoyar el brazo y varios actuadores con forma curva que pudiesen posicionar la muñeca en sus movimientos de flexión/extensión y aducción/abducción, de manera que, mediante la fijación manual de dichos actuadores por medio de tornillos de apriete, se obtenga la posición más óptima la muñeca.

Seguidamente se muestra un boceto del sistema y dos ejemplos de la ubicación donde trabajan los actuadores empleados:

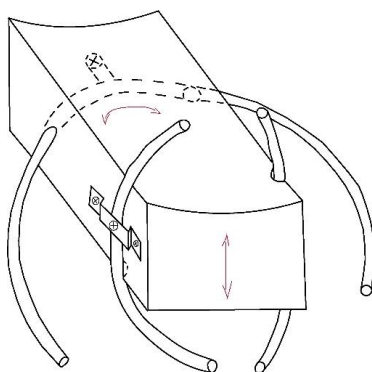


Figura 22. Boceto del posicionador de muñeca con actuadores.

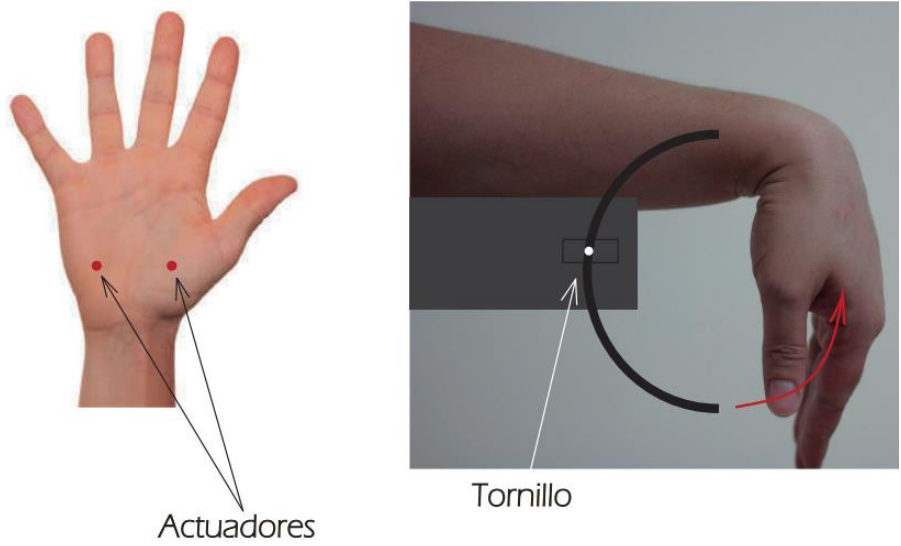


Figura 23. Ejemplo ubicación actuadores palma de la mano.

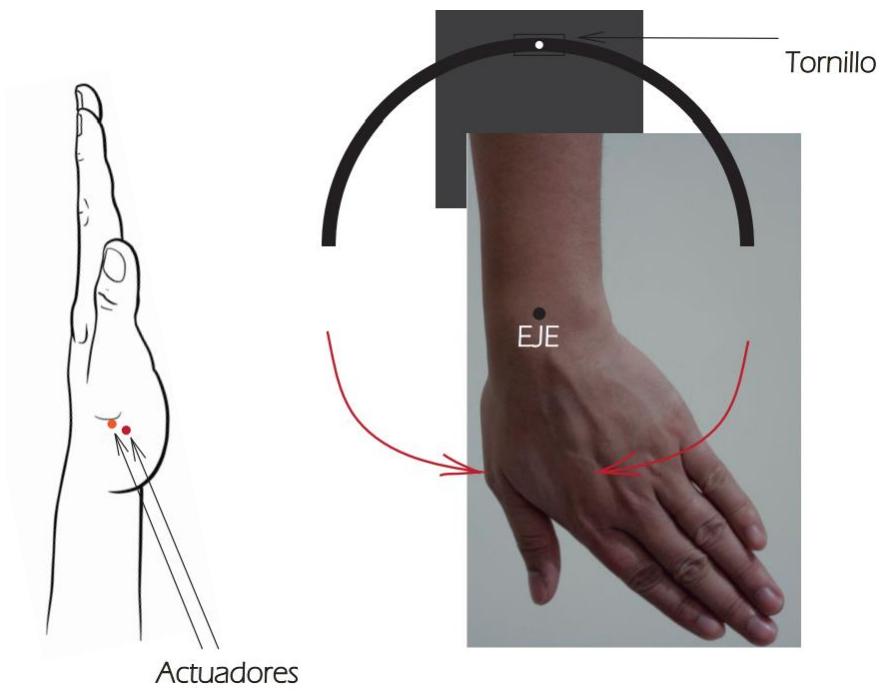


Figura 24. Ejemplo ubicación actuadores lateral de la mano.

2. Posicionador de dedos con deslizadera:

Esta segunda idea consiste en el posicionado de los cinco dedos de la mano mediante el levantamiento progresivo de las articulaciones de las falanges gracias al movimiento de una deslizadera que se encuentra situada en la zona inferior de los dedos.

También incluye un movimiento rotatorio en el soporte donde se apoya el antebrazo para posicionar el ángulo de la palma de la mano con respecto de la deslizadera.

A continuación, se muestra el boceto realizado:

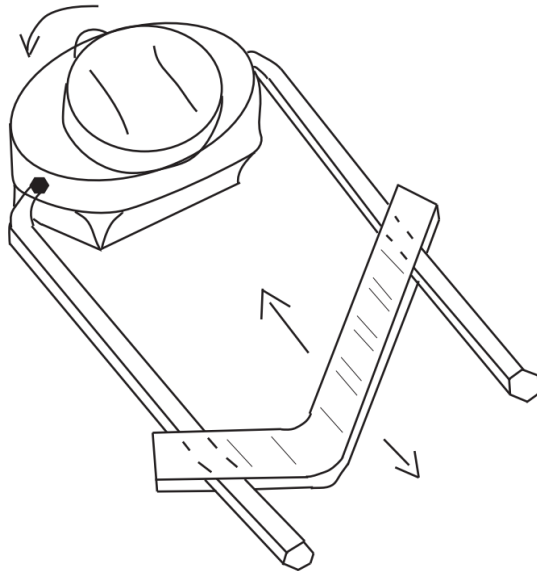


Figura 25. Boceto del posicionador de dedos con deslizadera.

3. Posicionador de muñeca con rótula:

Esta idea se basa en la utilización de una rótula de bola como medio para fijar los movimientos de flexión/extensión y de aducción/abducción de la muñeca.

Una rótula dispone de gran capacidad de movilidad además de un sistema sencillo de apriete que fija la posición requerida.

En los siguientes gráficos se muestra un ejemplo:

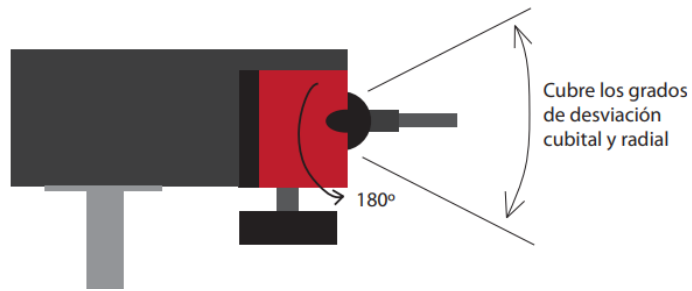


Figura 26. Ejemplo gráfico del modelo con rótula.

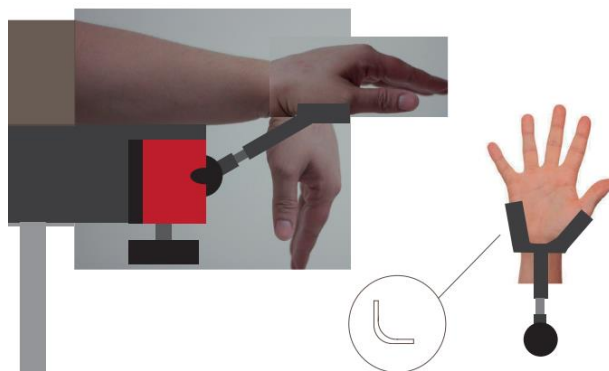


Figura 27. Ejemplo gráfico de la rótula posicionando la muñeca.

4. Análisis de las primeras ideas:

Tras evaluar la viabilidad de las primeras propuestas se llega a la conclusión de que para conseguir una correcta movilidad de la muñeca el sistema debe estar compuesto por 3 sólidos libres, el S1 de apoyo del antebrazo, el S2 que permita el movimiento de flexión/extensión y el S3 que permita el movimiento de aducción/abducción.

Se muestra gráfico en la siguiente figura:

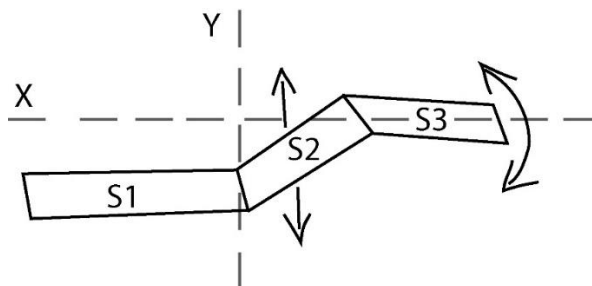


Figura 28. Gráfico con los sólidos libres del posicionado de muñeca.

5. Idea con sólidos libres:

Tras el análisis anterior se idea un sistema compuesto por los tres sólidos propuestos: el S1 soporta el antebrazo, el S2 gira en torno al eje que restringe el movimiento de flexión/extensión y el S3 gira en torno al eje que restringe el movimiento de aducción/abducción.

Los dos ejes mencionados se mueven gracias a un engranaje y un tornillo sinfín que los hace rotar el ángulo requerido.

Se muestra el boceto representativo:

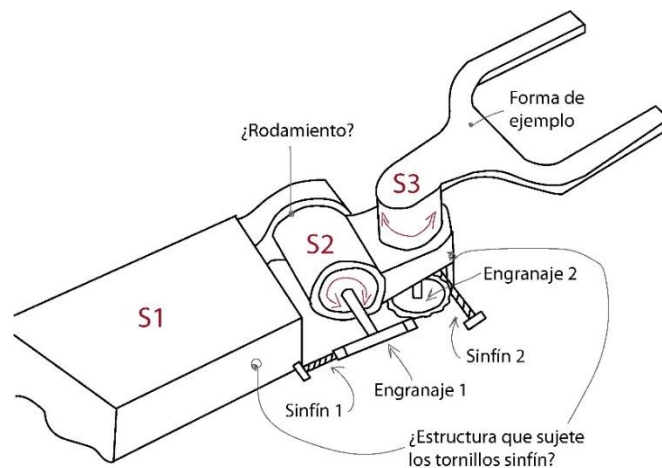


Figura 29. Sistema compuesto por 3 sólidos libres.

6. Corrección de la idea con sólidos libres:

Tras analizar el comportamiento del sistema anterior y el de los movimientos de la muñeca se llega a la conclusión de que los ejes de los sólidos 2 y 3 deben ser coincidentes dado que, a pesar de que la muñeca se compone de un conjunto de huesecillos, se puede considerar que sus movimientos parten de un mismo punto.

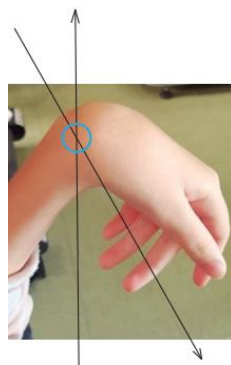


Figura 30. Ejes de movimiento de la muñeca coincidentes. Adaptado de [6]

Por ello se modifica el diseño anterior haciendo que dichos ejes sean coincidentes en un punto.

El siguiente boceto muestra el resultado:

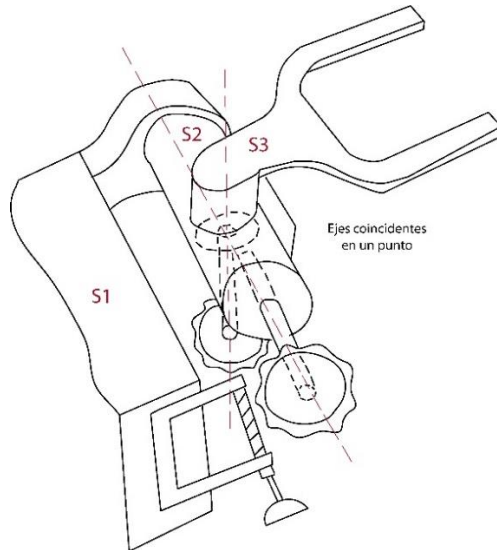


Figura 31. Sistema modificado con los ejes coincidentes.

A diferencia de las propuestas anteriores se decide materializar este prototipo para observar su funcionamiento. Para ello se realiza su modelado 3D utilizando el software de Catia V5 mostrado a continuación:

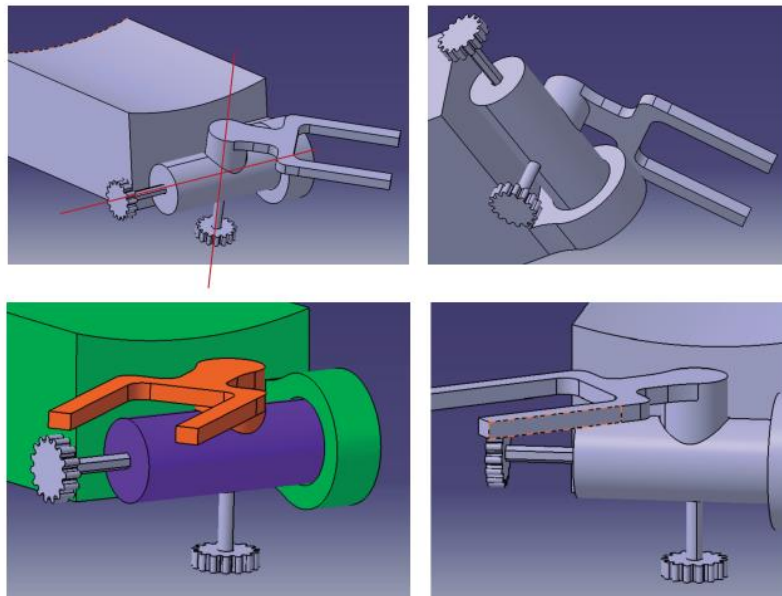


Figura 32. Modelado 3D en Catia V5 para el primer prototipo.

7. Propuestas para una deslizadera en el modelo anterior:

El sólido 3 mostrado anteriormente tiene una forma de ejemplo, en la siguiente imagen se propone un sistema a modo de deslizadera que permite levantar los dedos progresivamente desde su parte interior mediante el movimiento manual, gracias a dos agarradores ubicados en los laterales.

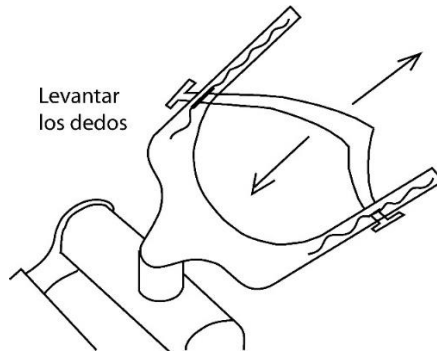


Figura 33. Propuesta para sistema de deslizadera.

Para conseguir una mejor sujeción y levantamiento de los cinco dedos se varía la morfología de la propia deslizadera y se incorporan soportes laterales que aseguren el correcto movimiento y la sujeción de esta.

Se muestra en el siguiente boceto:

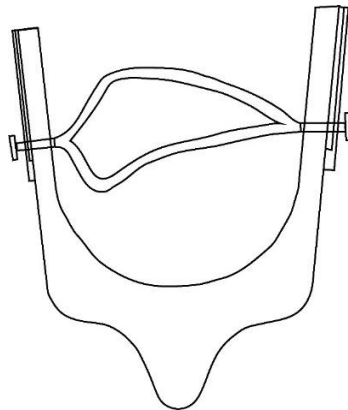


Figura 34. Variación en el diseño de la deslizadera.

Para poder comprobar el funcionamiento del prototipo se procede a su fabricación mediante impresión 3D en material PLA.

Tras obtener las distintas piezas, estas se ensamblan para poder comprobar tanto el funcionamiento de los dos ejes coincidentes en los movimientos de flexión/extensión y aducción/abducción como el desplazamiento de la deslizadera que soporta y levanta los cinco dedos de la mano.

Se muestra una imagen del modelo fabricado:

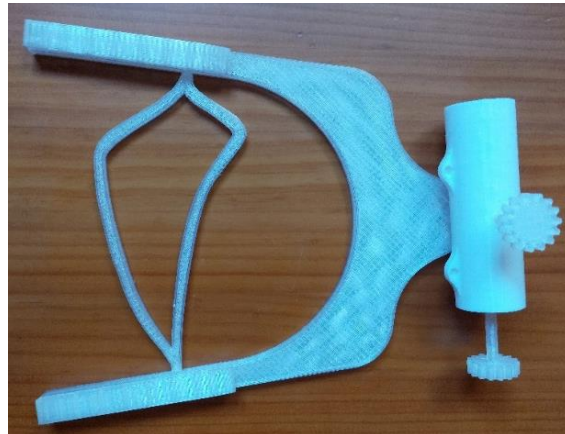


Figura 35. Prototipo fabricado en PLA por impresión 3D.

2.2. Conclusiones sobre las primeras ideas, bocetos y prototipos.

Tras evaluar la viabilidad de cada propuesta se llega a la conclusión de que el posicionador debe ser más robusto, para poder posicionar tanto la mano como la muñeca no solo basta con pequeños actuadores, sino que se debe conseguir un apoyo que además de posicionar y sujetar la mano y muñeca obstaculice la menor superficie posible a escanear.

En cuanto al posicionamiento de los dedos se considera que el dedo pulgar requiere de un elemento de fijación distinto al resto de dedos, ya que, el pulgar posee un mayor número de grados de libertad y, en consecuencia, un mayor número de movimientos que se deben limitar.

Los cuatro dedos largos se podrán levantar con un diseño similar al ejemplo anterior de la deslizadera.

La idea de utilizar rótulas permite un amplio rango de movimientos para lograr un correcto posicionamiento mediante un mecanismo sencillo de apriete.

La estructura necesita un soporte donde poder acoplarse y que permita las regulaciones angulares y de altura.

También será necesario que el soporte de apoyo del antebrazo no obstaculice su escaneado y pueda albergar suficientes marcadores en las direcciones necesarias para favorecer un correcto funcionamiento del escáner.

Capítulo 3. Diseño del prototipo final.

3.1. Definición de la necesidad.

El comienzo del presente trabajo se basó en idear un prototipo que además de posicionar la mano y la muñeca de la manera más óptima, permitiese su posterior escaneado para la fabricación de una ortesis avanzada o individualizada.

Es por ello que, tras investigar con las primeras ideas y prototipos, se decide crear un sistema que parte de una base o un cuerpo donde poder colocar marcadores en caso de que fuese necesario para realizar el escaneado y, además, equilibre los elementos que componen el prototipo; para ubicar correctamente dicho cuerpo es necesario un soporte que regule tanto la altura como los grados angulares en los otros dos ejes.

Así pues, se decide utilizar un trípode fotográfico como soporte principal del prototipo a realizar.

También se decide utilizar una guía para ubicar correctamente los distintos elementos de apoyo del brazo y mecanismos varios que posicionen la mano y muñeca, dado que esto permite regular y ajustar la distancia entre estos elementos en caso de ser utilizado por distintos usuarios con diferentes edades.

Para utilizar correctamente dicha guía y poder fijar las posiciones adecuadas se utilizarán elementos normalizados como tuercas, tornillos, manijas y perillas, que permitirán limitar el deslizamiento de las piezas a fijar en la guía.

La idea previa de utilizar un sistema de rótula es bastante efectiva a la hora de realizar el posicionado de los distintos mecanismos gracias a la posibilidad de fijado de la gran cantidad de movimientos que permite, por ello se decide utilizar este tipo de sistema también con brazos articulados.

Las piezas a diseñar tendrán la función de sujetar el brazo, la palma de la mano, y los dedos, utilizando la menor superficie para no obstaculizar el escaneo posterior.

Tras investigar también en las posibilidades que ofrecen las piezas impresas en 3D, se tiene en cuenta la posibilidad de utilizar un soldador eléctrico u otro elemento similar para introducir e incorporar elementos normalizados en las piezas impresas en 3D y así reducir la complejidad de diseño y fabricación para los posibles ensamblajes que se vayan a realizar.

Con todo esto se idea un sistema que combina elementos comerciales, elementos normalizados y piezas diseñadas y fabricadas mediante impresión 3D.

3.2. Propuesta del prototipo final.

Tras realizar la definición de cómo debe funcionar el prototipo a diseñar y estudiar los elementos que permiten materializarlo se propone el siguiente diseño mostrado a modo de boceto:

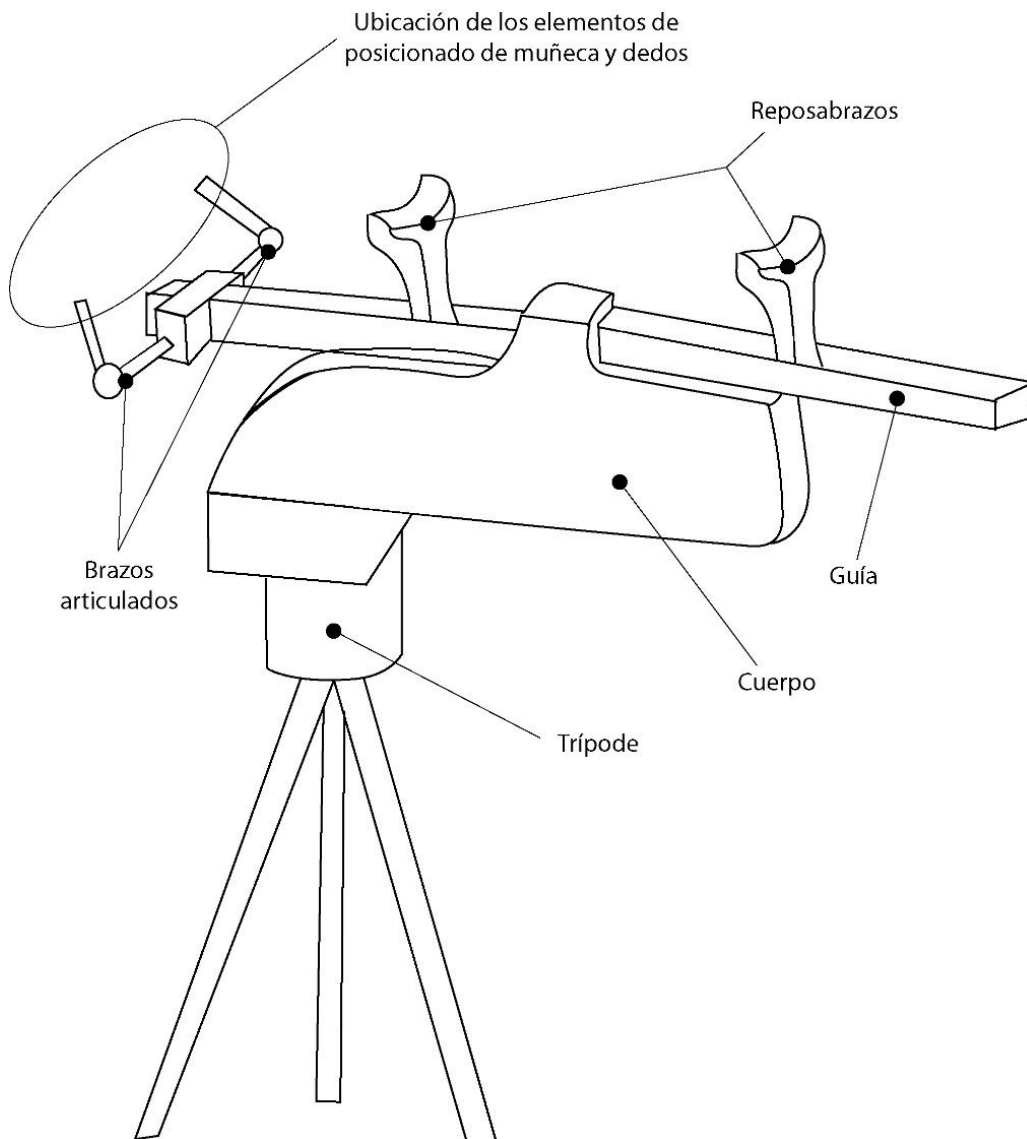


Figura 36. Diseño bocetado del prototipo final (Parte 1).

El boceto mostrado muestra una primera idea general de la apariencia que tendrá el prototipo final a desarrollar, el cual, incluye distintos elementos como: un trípode, un cuerpo que soporta la estructura y se fija al elemento anterior, y una guía que contendrá los elementos y piezas donde se apoyará el brazo y se posicionarán la muñeca y la mano.

Para la zona donde se ubican los elementos que se encargan del posicionado de la muñeca y la mano se propone un sistema que parte de la guía gracias a dos brazos articulados situados a ambos lados de esta.

Se propone un diseño que utiliza diversas piezas o elementos que posicionan de una manera sencilla y liviana limitando y fijando los distintos movimientos de la mano para fijar la mejor posición lograda.

Para lograr levantar la muñeca y la palma de la mano bastará con un apoyo inferior que no obstaculice una gran superficie, mientras que para posicionar el pulgar y el movimiento de aducción/abducción de la muñeca se utiliza un conjunto de piezas que, unidas a una rótula fijan dicho movimiento desde un lateral y sujetan el dedo pulgar.

Para el posicionado de los dedos se diseñará una pieza que actúe como deslizadera interior a otra pieza donde se colocará la primera falange de los cuatro dedos. La deslizadera mencionada tiene la función de levantar los dedos en el estado de flexión e incorporará un ajuste que posicione también el movimiento de extensión.

El siguiente boceto muestra de manera gráfica la idea a desarrollar:

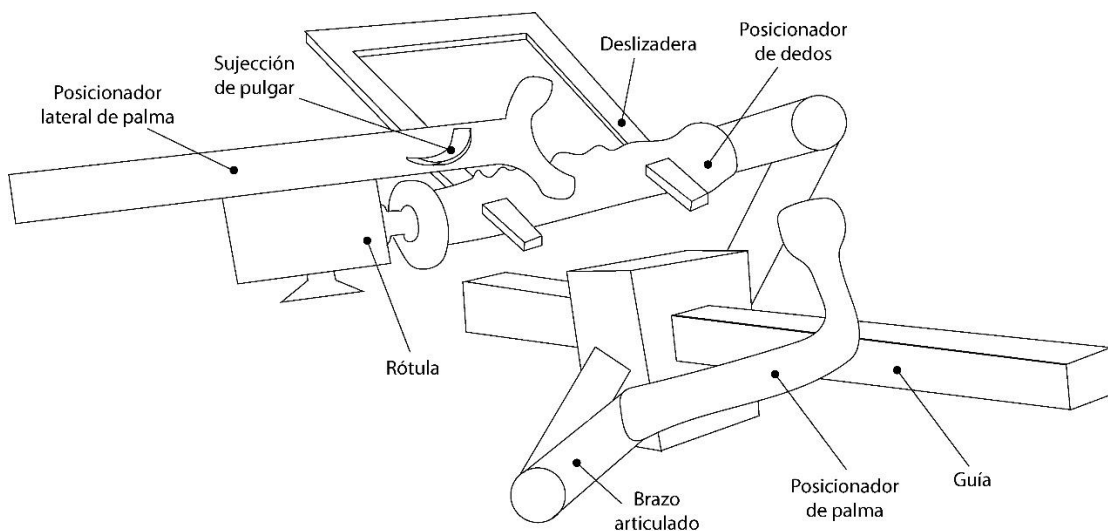


Figura 37. Diseño bocetado del prototipo final (Parte 2).

Así pues, se desarrolla el diseño y la obtención de todos los elementos mencionados en los dos bocetos anteriores.

Se procede a buscar los elementos comerciales que mejor se adecúen a la propuesta del modelo final y se comienza a diseñar cada una de las piezas a fabricar mediante impresión 3D.

3.2.1. Elección de los elementos comerciales.

Antes de comenzar con el modelado 3D de cada pieza a imprimir se escogen los elementos comerciales necesarios donde se ensamblarán dichas piezas.

Elementos comerciales escogidos:

1. Trípode:

El trípode que se utilizará es el modelo 290 Xtra con rótula 3 Way de la marca Manfrotto. Este trípode cuenta con regulaciones angulares de altura que permiten fijar la mejor posición del prototipo en cuanto a las necesidades del paciente. Ver especificaciones en Anexo 1.



Figura 38. Trípode comercial de la marca Manfrotto. [20]

2. Guía o perfil cuadrado:

La guía escogida tendrá una longitud de 500mm, unas dimensiones de 25x25mm y está fabricada en aluminio. Ver especificaciones en Anexo 1.



Figura 39. Guía o perfil cuadrado de aluminio.

3. Brazos articulados:

Los brazos articulados elegidos podrán soportar una carga de hasta 3Kg, permitiendo así soportar el peso de las piezas unidas a ellos junto con el peso de la muñeca y la mano del usuario.

El modelo escogido es 244MICRO-AA de la marca Manfrotto. Ver especificaciones en Anexo 1.



Figura 40. Brazo articulado comercial de la marca Manfrotto. [20]

4. Rótula de bola:

Por último, se elige el siguiente modelo de rótula que permitirá posicionar el pulgar y la palma de la mano gracias a la amplia gama de movimientos que esta ofrece.

El modelo seleccionado es Rótula con bola centrada 492 con zapata soporte de la marca Manfrotto. Ver especificaciones en Anexo 1.



Figura 41. Rótula de bola comercial de la marca Manfrotto. [20]

Para ensamblar y ajustar todas las piezas del prototipo será necesario emplear tornillos, tuercas, perillas y manijas de métricas 8, 1/4" y 3/8".

Ver especificaciones en Anexo 1.

3.2.2. Diseño de piezas a fabricar por impresión 3D.

En el presente apartado se muestra el modelado en 3D utilizando el software Catia V5 y su materialización en material PLA mediante la tecnología FDM de impresión 3D.

Piezas diseñadas y fabricadas:

1. Unión de trípode:

Para llevar a cabo el diseño de esta pieza se han tenido en cuenta las medidas del diseño del alojamiento que se encuentra en la parte superior del trípode elegido. Mediante un sistema de apriete que ofrece el propio trípode, al colocar correctamente la pieza diseñada, se consigue una gran sujeción de la pieza impresa, la cual soportará el resto de la estructura.

La pieza cuenta con 4 agujeros pasantes por los que se introducirán 4 tornillos.

A continuación, se muestra una imagen del modelo CAD y otra de la pieza impresa:

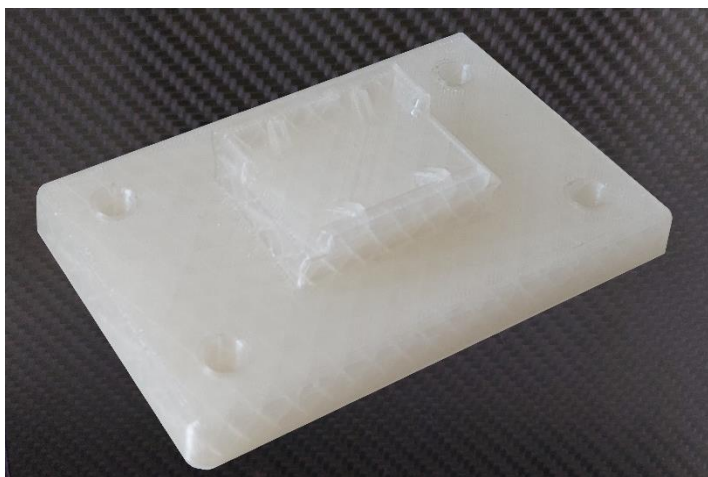
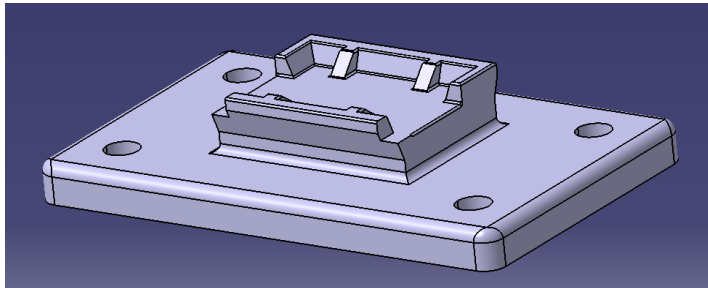


Figura 42. Diseño de la pieza de unión de trípode.

2. Cuerpo:

La pieza principal del prototipo será el cuerpo, el gran tamaño de esta pieza permitirá sostener y colocar la mayor parte de los elementos del sistema dado que a través de este irá colocada la guía de aluminio.

Su diseño permite la colocación de dianas o marcadores en caso de que sea necesario para realizar el escaneado posterior.

Su zona inferior se ensambla con la pieza anterior por medio de 4 tornillos y 4 tuercas; mientras que en la zona superior se deja un espacio para ubicar la guía y para la pieza que fija la guía.

A continuación, se muestra una imagen del modelo CAD y otra de la pieza impresa:

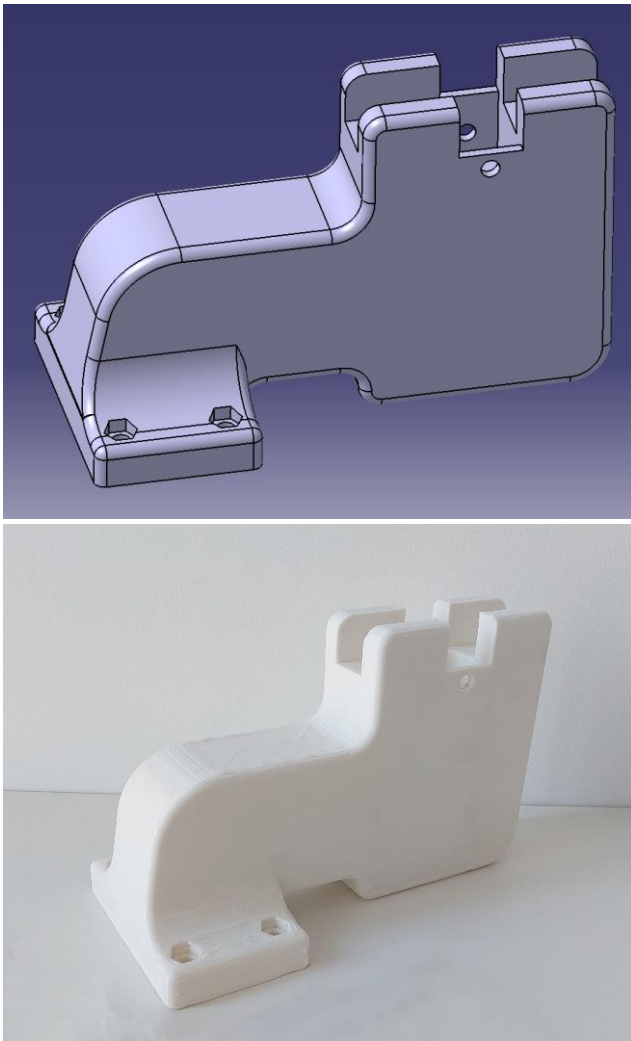


Figura 43. Diseño del cuerpo del prototipo.

3. Sujeción de guía:

La función de esta pieza es la de fijar el deslizamiento de la guía a través del cuerpo. Cuenta con huecos donde se alojarán las tuercas que apretarán los tornillos de su ensamblaje con el cuerpo y también en el lugar superior, donde se ubicará una manija que permita fijar la guía.

Esta pieza se ha diseñado por separado del cuerpo para evitar tener que imprimir ambas piezas de nuevo en caso de rotura o desgaste.

A continuación, se muestra una imagen del modelo CAD y otras dos de la pieza impresa:

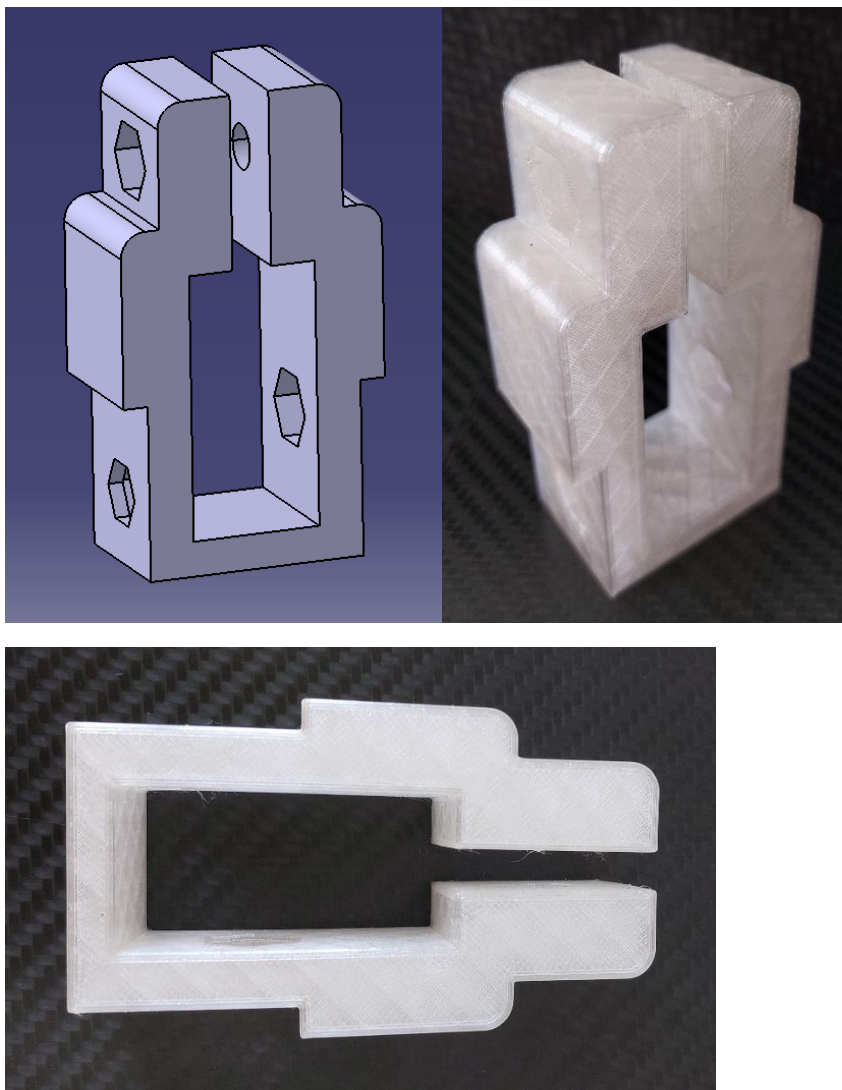


Figura 44. Diseño de la sujeción de la guía.

4. Reposabrazos delantero y trasero:

Estas piezas tienen la función de posicionar el antebrazo en dos zonas, de manera que resulte cómodo y sencillo.

La zona inferior de ambas piezas permite su ensamblaje con la guía de aluminio gracias a los agujeros donde se insertarán las tuercas y las manijas, las cuales fijarán la posición de estas piezas a través de la guía.

El diseño de los dos reposabrazos es bastante similar excepto por que el trasero ofrece un mayor espacio para apoyar el antebrazo debido a que en esa zona el brazo tiene una mayor anchura.

A continuación, se muestran las imágenes de los modelos CAD y otra de las piezas impresas:

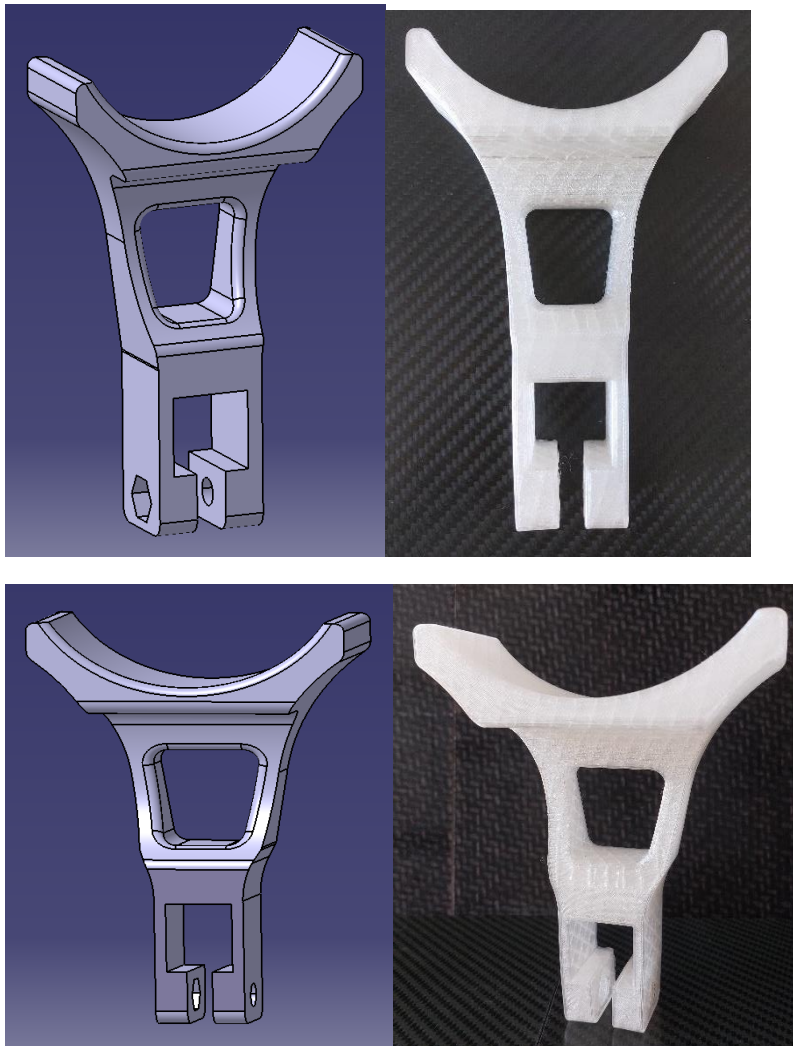


Figura 45. Diseño del reposabrazos delantero (zona superior) y trasero (zona inferior).

5. Sujeción de brazo articulado:

Para poder unir los dos brazos articulados a la guía es necesario diseñar un par de piezas que permitan el ensamblaje entre sí y con la propia guía.

El diseño realizado permite una perfecta unión de los brazos articulados gracias al roscado con una tuerca ubicada en el interior de la pieza.

En los otros agujeros se introducirán un tornillo y una manija para ensamblar las piezas y fijarlas a la guía respectivamente.

La parte interior de las piezas ofrece un espacio por donde se introducirá la guía de aluminio.

A continuación, se muestran las imágenes de los modelos CAD y otra de las piezas impresas:

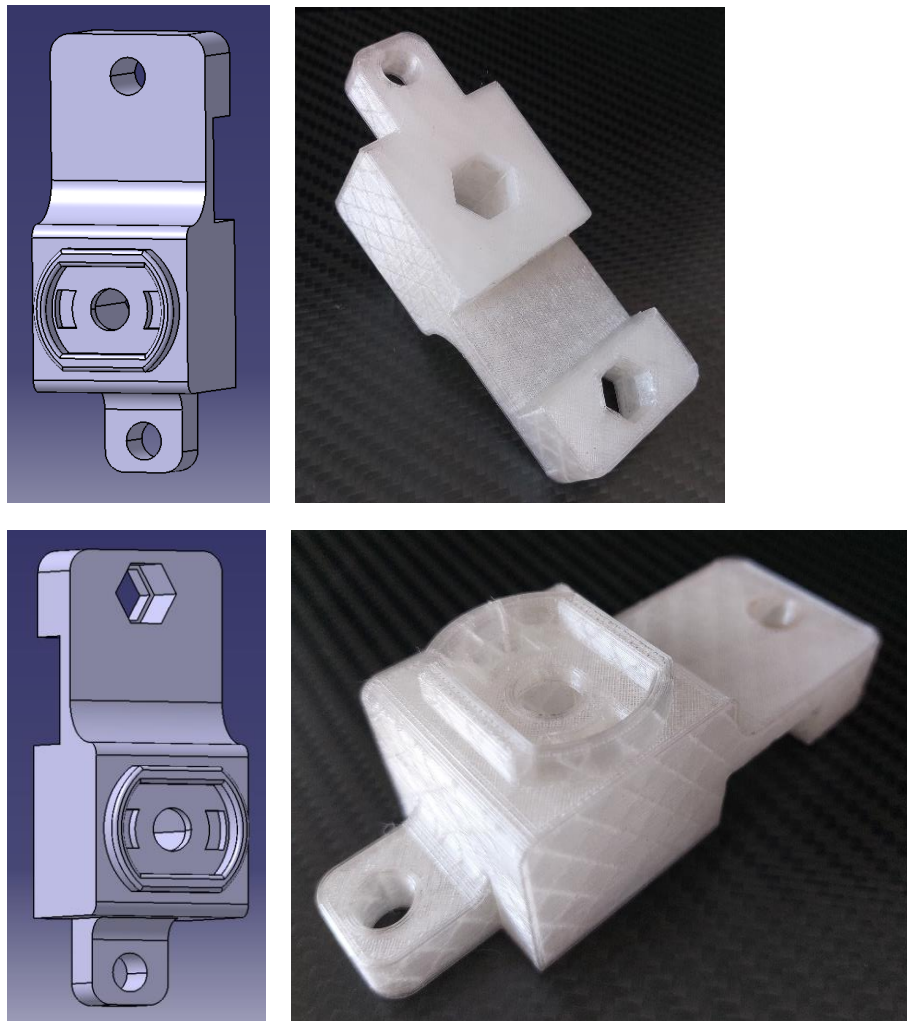


Figura 46. Diseño de la sujeción derecha e izquierda de los brazos articulados.

6. Posicionador de palma:

El diseño de esta pieza se basa en hacer posible el posicionado del movimiento de flexión mediante un apoyo que no abarque gran superficie de la palma y no obstaculice el escaneado de la muñeca y mano desde su zona inferior.

En el extremo contrario a la zona de contacto con la palma se sitúa un agujero con forma hexagonal, el cual albergará la tuerca en la que rosque el brazo articulado encargado del movimiento de esta pieza.

A continuación, se muestra una imagen del modelo CAD y otras dos de la pieza impresa:

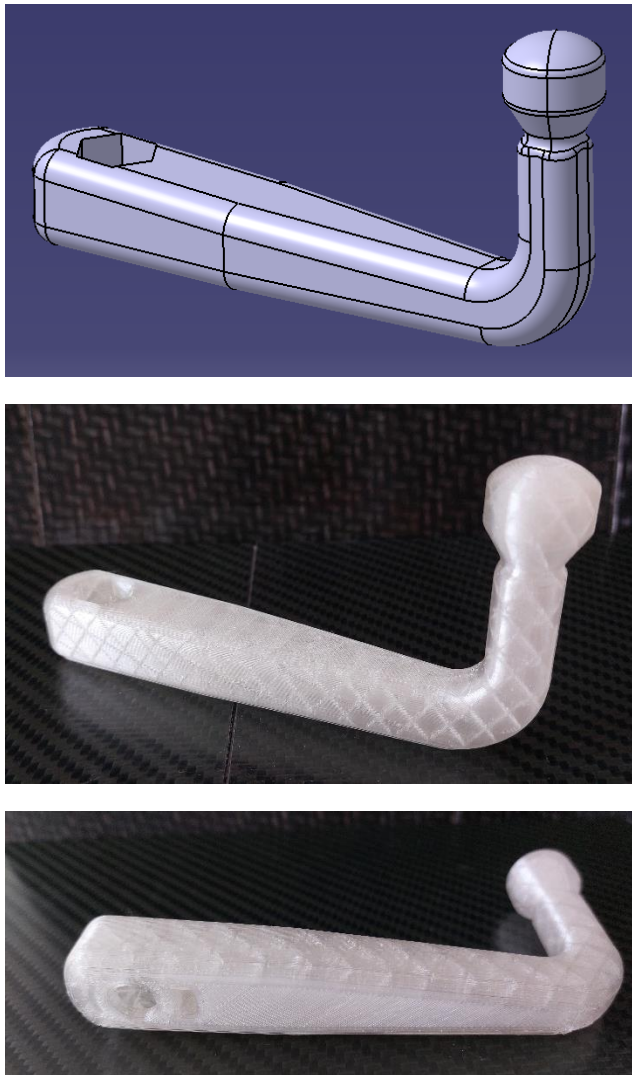


Figura 47. Diseño del posicionador de palma.

7. Zapata para rótula:

Para poder colocar las piezas que permiten posicionar el pulgar y parte de la palma dentro de la estructura será necesario diseñar una pieza que ensamble dichos elementos a la rótula comercial.

Para ensamblar correctamente la rótula comercial escogida se debe diseñar una zapata soporte con las medidas adecuadas que fijen la rótula.

Para ubicar el posicionador lateral de palma y el posicionador de pulgar se diseña la zapata con un agujero a través del cual se fijará la posición respecto de la mano.

También se diseña un espacio con forma hexagonal para soldar una tuerca, a través de la cual se fijará el posicionador gracias a la utilización de una perilla o tornillo de apriete.

A continuación, se muestra una imagen del modelo CAD y otra de la pieza impresa:

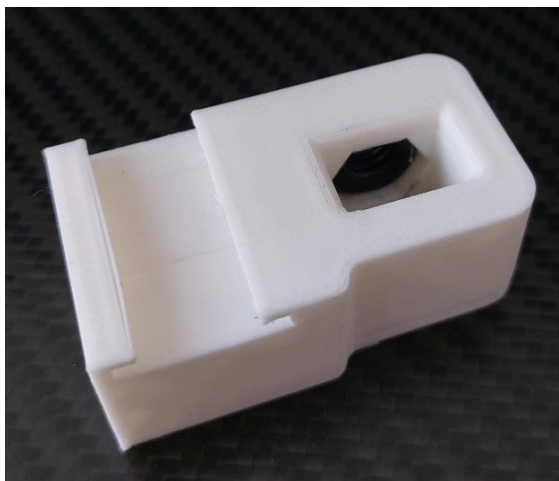
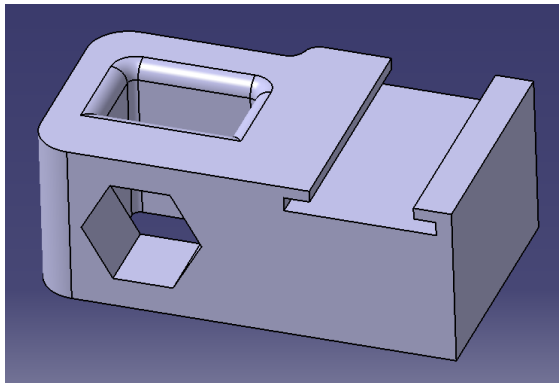


Figura 48. Diseño de la zapata para rótula.

8. Posicionador lateral de palma y de pulgar:

Estas piezas tienen la función de sujetar y fijar la posición de la palma de la mano a la vez que posiciona el dedo pulgar.

El diseño consta de dos piezas que se pueden ensamblar entre sí en distintas posiciones, dependiendo de las necesidades del paciente.

La pieza más larga es el posicionador lateral de palma, el cual se fija a través de la zapata para rótula vista en el punto anterior, gracias a la utilización de una tuerca y una perilla o tornillo de apriete. Su diseño cuenta con tres agujeros donde poder ensamblar la pieza que define el posicionador de pulgar.

A continuación, se muestran las imágenes de los modelos CAD y otra de las piezas impresas:



Figura 49. Diseño del posicionador lateral de palma.

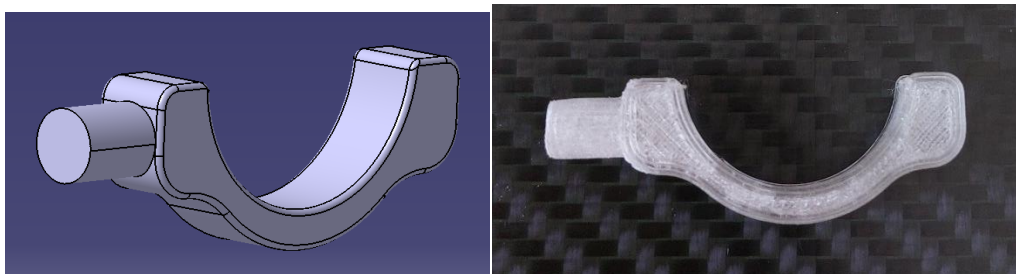


Figura 50. Diseño del posicionador de pulgar.

9. Posicionador de dedos:

Esta pieza tiene la función de proporcionar un apoyo para cada uno de los cuatro dedos en la zona de la falange más cercana a la palma de la mano, proporcionándoles un espacio asociado a cada uno de manera que quedan colocados a una determinada distancia entre ellos.

La pieza se ha diseñado para poder ser utilizada tanto en la mano derecha como en la izquierda.

Su diseño se ha realizado teniendo en cuenta el hecho de poder realizar su ensamblaje con uno de los dos brazos articulados en uno de sus extremos y con la rótula de bola en el extremo opuesto.

También contiene dos huecos pasantes donde se alojará la deslizadera diseñada que, junto con esta pieza completa el posicionado de los cuatro dedos de la mano.

A continuación, se muestra una imagen del modelo CAD y otra de la pieza impresa:

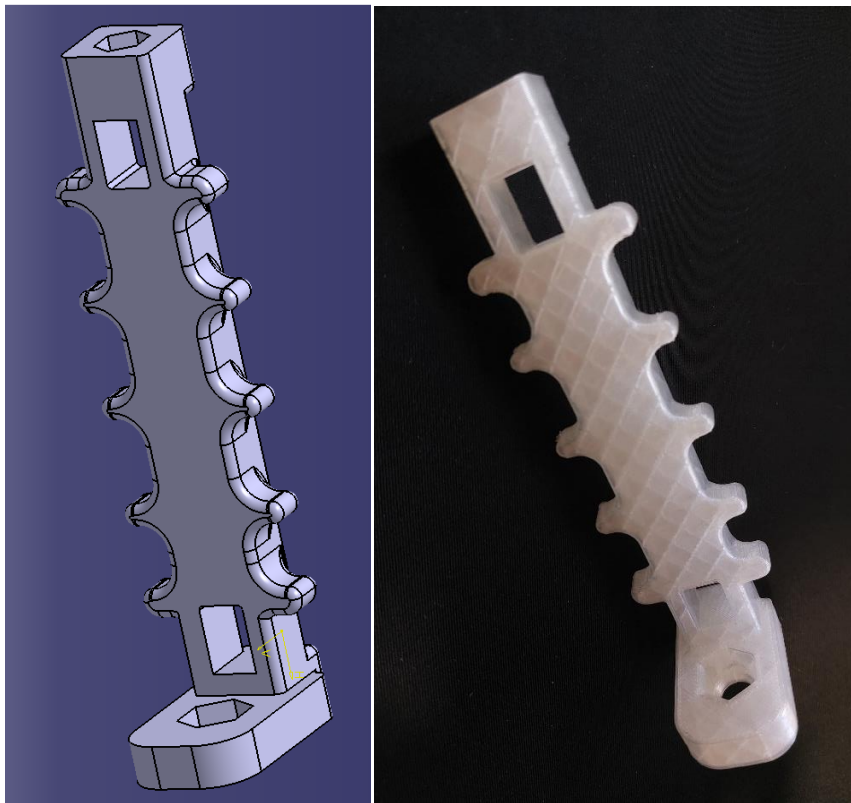


Figura 51. Diseño del posicionador de dedos.

10. Deslizadera:

La pieza mencionada en el apartado anterior que se ensambla al posicionador de dedos es la deslizadera.

Los laterales de esta pieza, que se introducen en los huecos del posicionador de dedos, ofrecen el movimiento de traslación en uno de sus ejes, lo que permite el posicionado de los dedos que se encuentran en estado de flexión.

A su vez, en los laterales de la pieza se encuentra ubicado un resalte que permite atar una banda elástica para posicionar los dedos que se encuentran en extensión.

La zona central de la pieza ofrece un diseño que permite colocar la tercera falange de los cuatro dedos, la más alejada de la palma, separándolas una distancia determinada.

A continuación, se muestra una imagen del modelo CAD y otra de la pieza impresa:

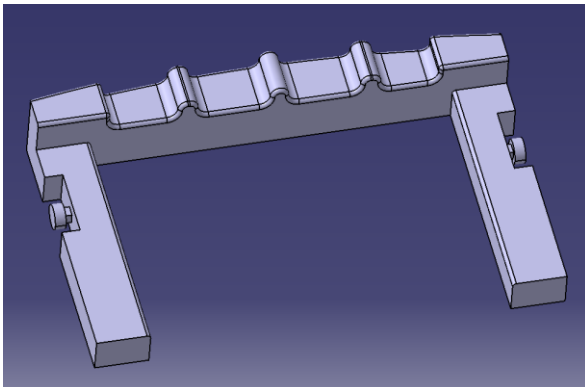


Figura 52. Diseño de la deslizadera.

11. Tapas para la guía:

La guía de aluminio empleada no cuenta con los bordes de los extremos redondeados, esto hace que dichas zonas puedan considerarse peligrosas y por ello se han diseñado unas tapas que eviten el contacto directo con estas zonas además de darle un toque más estético.

Las tapas tienen un diseño simple que permite colocarlas y quitarlas de manera sencilla.

Además, cuenta con un diseño de bordes redondeados que resultan más agradables al contacto.

A continuación, se muestra una imagen del modelo CAD y otra de la pieza impresa:

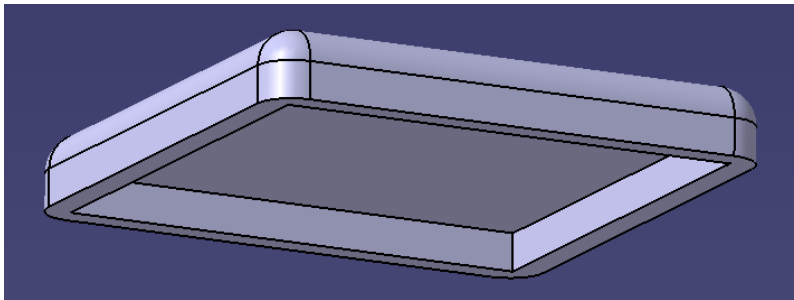


Figura 53. Diseño de las tapas para la guía.

3.3. Parámetros utilizados en el proceso de impresión 3D.

Tras obtener los modelos 3D de cada pieza diseñados utilizando el software de Catia V5, se guardan como archivos en la extensión .stl; este tipo de archivos son los utilizados en el software que controla todos los parámetros de impresión.

En el presente proyecto se ha utilizado el software de Ultimaker Cura, a partir del cual se ha establecido la manera en la que se ha impreso cada una de las piezas fabricadas, definiendo la cara de apoyo con la mesa de impresión, así como la posición más favorable para obtener la impresión más óptima de cada pieza.

A continuación, se presentan los parámetros empleados a modo de tabla:

Calidad: Altura de capa: 0.28mm
Relleno: Densidad de relleno: 20% Patrón de relleno: Cúbico
Material: Temperatura de impresión: 220°C Temperatura de la cama: 80°C
Velocidad: Velocidad de impresión: 50mm/s Velocidad en las paredes: 25mm/s
Soportes: Densidad de soporte: 15% Patrón de soporte: Zig-Zag
Adhesión a la cama de construcción: Tipo de adhesión: Brim (Desde el borde)

Figura 54. Tabla de parámetros de impresión en Ultimaker Cura.

Capítulo 4. Montaje del prototipo.

4.1. Ensamblaje por piezas.

En el presente capítulo se explica por orden y paso a paso el montaje del prototipo final desarrollado.

La explicación de cada ensamblaje se detallará con imágenes que ayudan a mejorar la comprensión del proceso para que cualquier usuario pueda montarlo con total independencia.

El montaje se divide en diversos pasos a seguir:

Pasos a seguir:

1. Unión de cuerpo a la unión de trípode:

Para realizar este ensamblaje será necesario contar con la pieza del cuerpo, la de la unión de trípode, cuatro tuercas y cuatro tornillos de métrica 8.

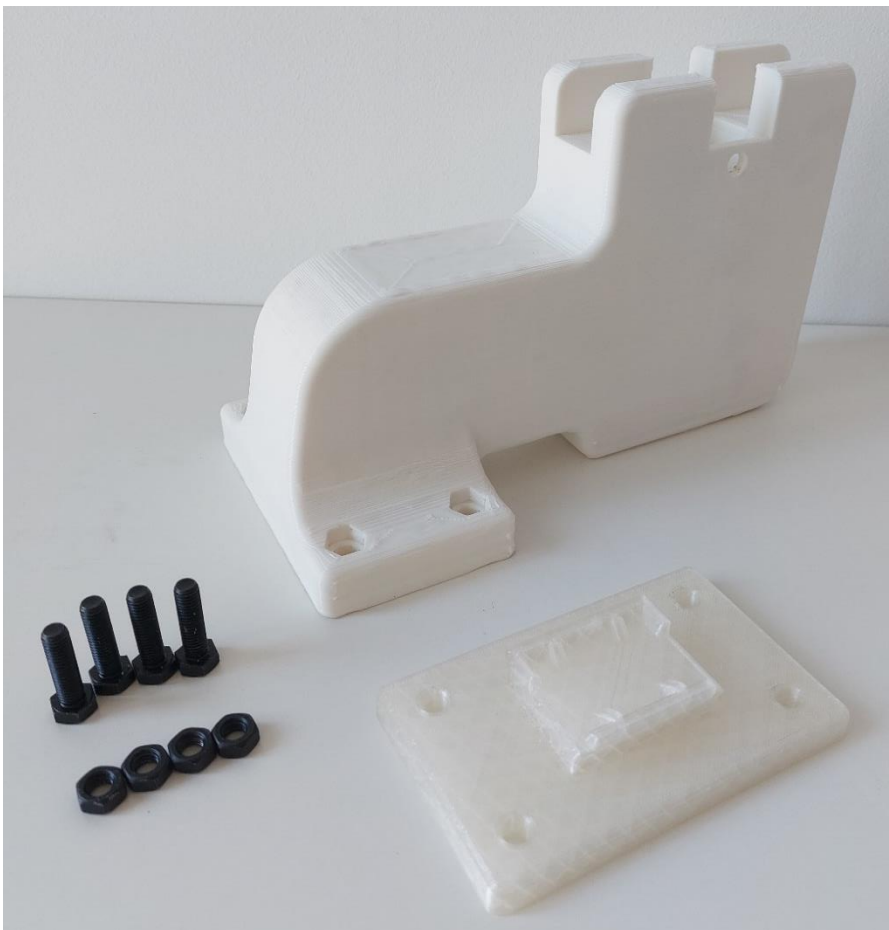


Figura 55. Piezas constituyentes de la unión del cuerpo y la sujeción de trípode.

Se procede a colocar la pieza unión de trípode bajo el cuerpo de manera que los cuatro agujeros coincidan.



Figura 56. Colocación del cuerpo con la pieza de sujeción del trípode.

Por último, se introducen los cuatro tornillos desde el cuerpo y se rosca las tuercas desde la pieza inferior hasta conseguir que quede fijado.



Figura 57. Ensamblaje del cuerpo y la pieza de sujeción del trípode.

2. Montaje del primer ensamblaje al trípode:

El segundo paso consiste en montar el ensamblaje anterior al trípode comercial escogido.

Para ello bastará con colocar correctamente la pieza de unión en el alojamiento que dispone el trípode y fijarlo con la pieza de color gris que se aprecia en las siguientes imágenes:

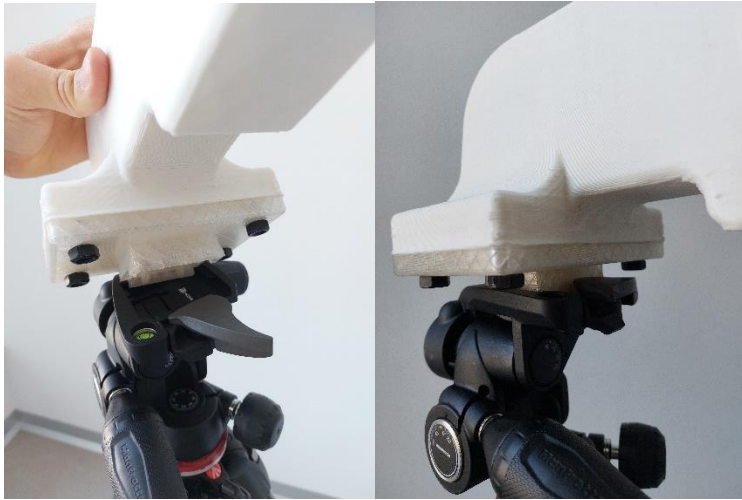


Figura 58. Montaje del primer ensamblaje al trípode.

3. Unión de la sujeción de guía al cuerpo:

El tercer paso consiste en efectuar el ensamblaje de la pieza que fija la posición de la guía a través del cuerpo.

Para ello se contará con las piezas que componen el cuerpo y la sujeción de guía y con dos tornillos y tuercas de métrica 8.



Figura 59. Unión de la sujeción de la guía al cuerpo.

La pieza de sujeción de guía contará también con una tuerca a través de la cual una manija fijará la posición de la guía en el cuerpo.

4. Montaje de los reposabrazos:

El siguiente paso consiste en ensamblar las manijas que fijarán la posición del reposabrazos delantero y trasero con respecto de la guía.

Para ello se utilizarán las piezas de ambos reposabrazos y dos tuercas y manijas de métrica 8.

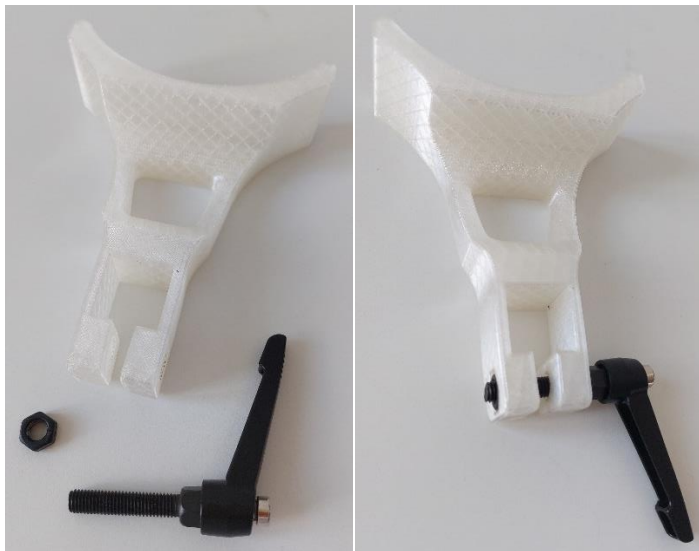


Figura 60. Montaje de los reposabrazos.

5. Ensamblaje de la guía:

En este paso se introduce la guía a través del cuerpo pasando por el interior de la pieza de sujeción de guía, y una vez colocada en su posición, se procede a fijarla gracias a la manija y tuerca ubicadas en la pieza de sujeción.

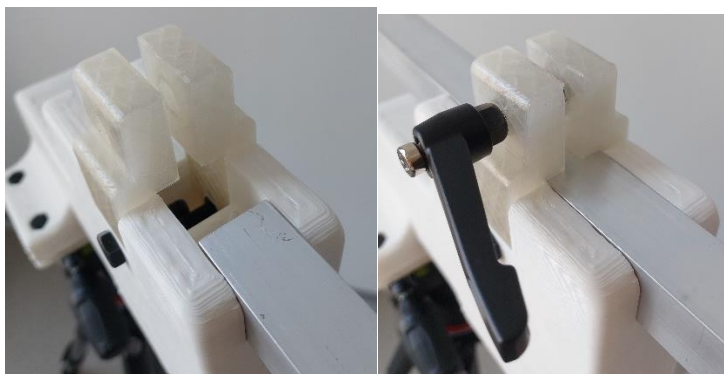


Figura 61. Ensamblaje de la guía.

6. Ensamblaje de los reposabrazos:

Este paso consiste en el montaje de los dos reposabrazos con la guía y su posterior fijación utilizando las manijas ensambladas en ellos.

En la siguiente imagen se aprecia el reposabrazos delantero situado en la zona izquierda y el reposabrazos trasero situado en la zona derecha.



Figura 62. Ensamblaje de los reposabrazos.

7. Montaje de la sujeción de brazo:

Para realizar este paso se necesitan las dos piezas que constituyen la sujeción de brazo, dos tuercas, una manija y un tornillo de métrica 8 y dos tuercas de 3/8”.

Las tuercas de 3/8” se utilizarán posteriormente para ensamblar los brazos articulados, pero es necesario introducirlas en sus respectivos huecos antes de realizar el presente ensamblaje.

Las dos piezas de sujeción del brazo se unen por medio de un tornillo y tuerca mientras que la manija y la tuerca restante se utilizan en el montaje de estas piezas en la guía.

En la siguiente imagen se pueden ver las piezas constituyentes, su ensamblaje y su posterior montaje en la guía de aluminio.

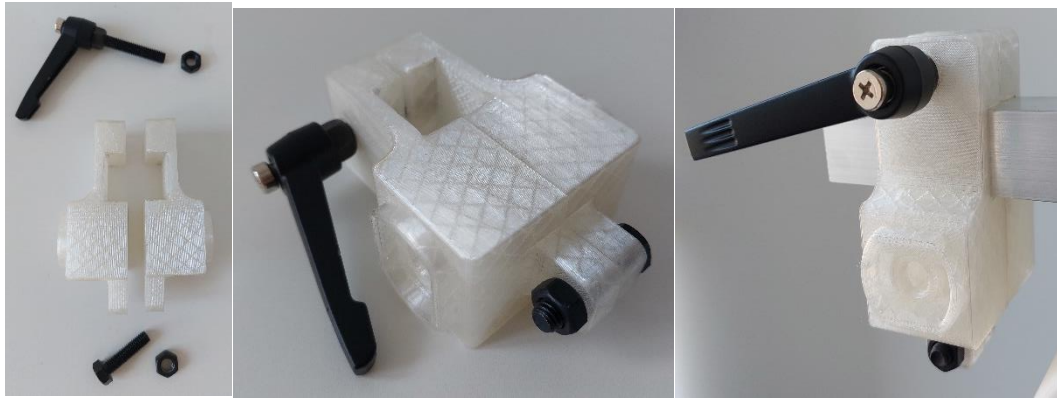


Figura 63. Montaje de la sujeción de brazos.

8. Unión de los brazos articulados:

En este paso se procede a montar los dos brazos articulados en las piezas que los sujetan.

Para conseguir realizar el ensamblaje se utilizan las tuercas de 3/8" mencionadas en el punto anterior, las cuales roscan con uno de los extremos de cada brazo.

En la siguiente imagen se muestran las piezas constituyentes, el ensamblaje con la tuerca y el montaje en la guía.

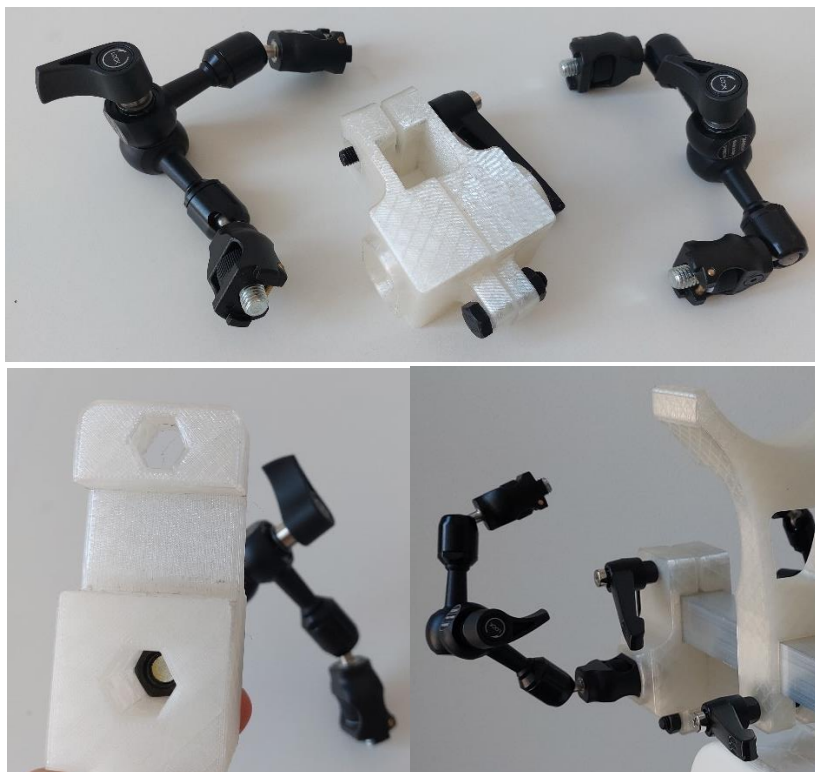


Figura 64. Unión de los brazos articulados.

9. Ensamblaje del posicionador de palma:

Uno de los dos brazos articulados tiene la función de posicionar la pieza que fija la palma de la mano, por ello se montará el posicionador de palma en el brazo adecuado utilizando para ello una tuerca de 3/8”.

En la siguiente imagen se muestran las piezas a unir, su ensamblaje y su montaje en el conjunto.



Figura 65. Ensamblaje del posicionador de palma.

10. Ensamblaje del posicionador de dedos:

El posicionador de dedos tiene varios ensamblajes puesto que además de unirse a uno de los brazos articulados, también debe sujetar las piezas que soporta la rótula de bola.

Así pues, en su extremo más ancho se ubicará una tuerca de 3/8” para realizar el ensamblaje con el brazo articulado mientras que, en su extremo opuesto, en el cual se ha soldado previamente una tuerca de 1/8” utilizando un soldador eléctrico, se roscará la rótula de bola hasta que quede completamente fija.

Este paso es de gran importancia dado que se posicionan y sujetan varias piezas que parten desde el brazo articulado, por ello se debe tener especial atención en que todas las piezas queden perfectamente ajustadas y ensambladas para conseguir un correcto funcionamiento del sistema.

En la siguiente imagen se muestran las piezas que constituyen el presente ensamblaje y se detalla por separado el montaje con el brazo articulado y con la rótula de bola.

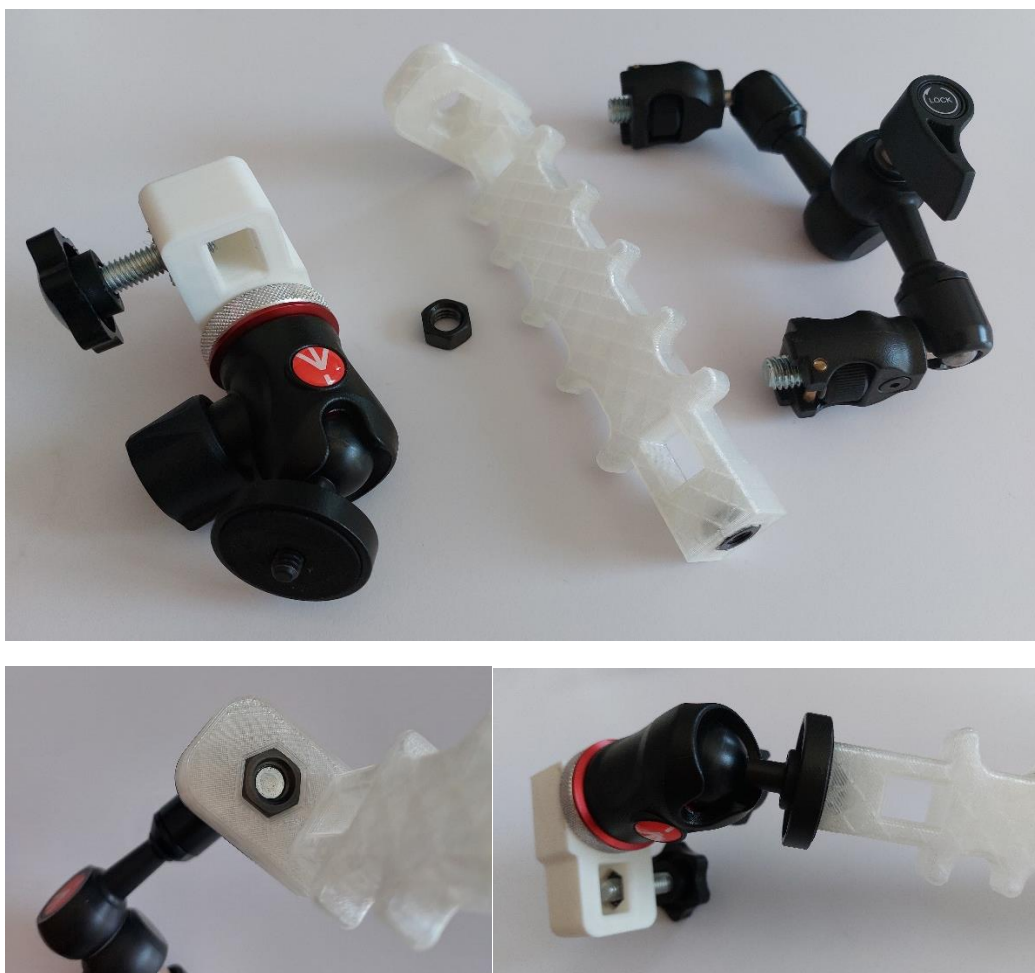


Figura 66. Ensamblaje del posicionador de dedos.

11. Montaje de la deslizadera

El otro elemento que complementa al posicionador de dedos en la tarea de posicionar los cuatro dedos de la mano es la deslizadera.

Esta pieza se ensambla junto con el posicionador de dedos gracias a los dos agujeros pasantes que ofrece la pieza anterior.

Una vez se ha colocado en la posición deseada se puede utilizar una banda elástica ubicada en uno de los resaltes que contienen los laterales para fijar los movimientos de extensión de los dedos.

Para fijar la banda elástica se introduce, primero en el resalte de un lateral estirándose hasta introducirse en el resalte del lado opuesto; esto se consigue gracias a pequeñas fisuras de la banda ubicadas en su zona central las cuales permiten regular el ajuste necesario.

En la siguiente imagen se muestran los tres elementos del ensamblaje antes y después de su montaje.

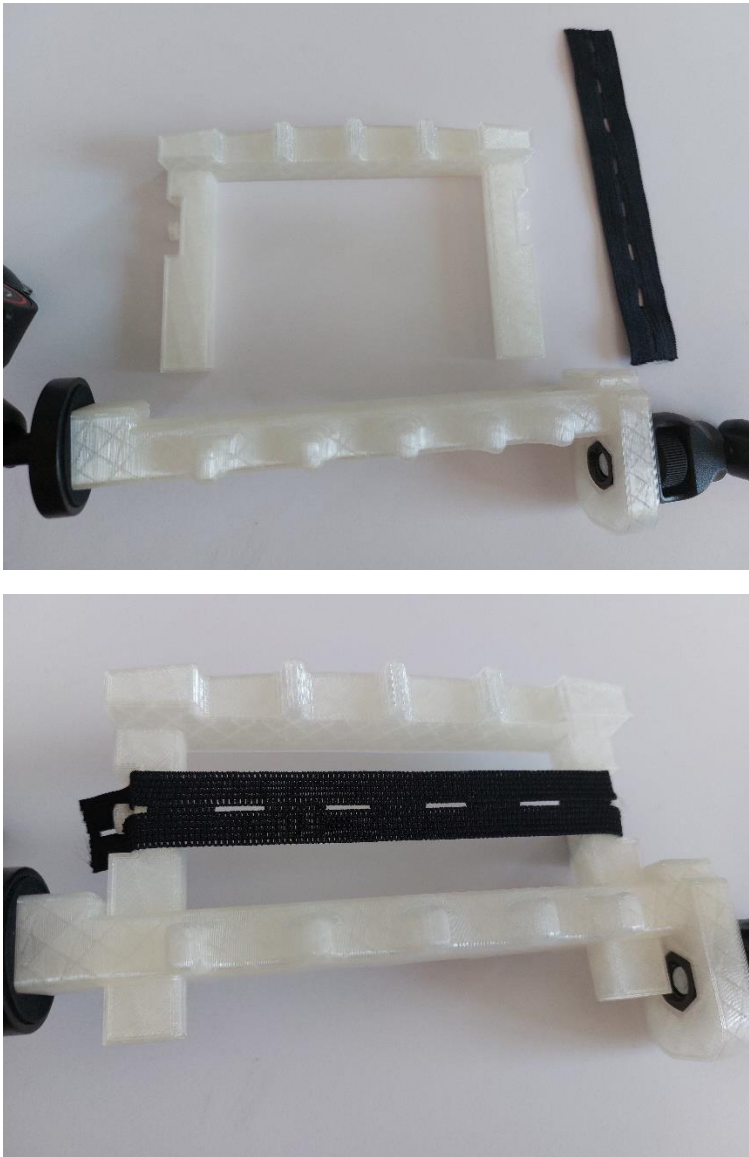


Figura 67. Montaje de la deslizadera.

12. Ensamblaje de rótula, zapata y posicionadores de pulgar y palma:

La rótula comercial elegida se rosca en una tuerca que previamente se ha soldado en la pieza que posiciona los dedos, y en su lado opuesto se introduce dentro de la zapata soporte que contiene la pieza que también regula y fija la colocación del posicionador lateral de palma y de pulgar.

El posicionador de pulgar se inserta en uno de los tres huecos que ofrece el posicionador lateral de palma, el cual, a su vez, se introduce dentro del hueco

que presenta la zapata para rótula y se fija con la ayuda de una perilla y una tuerca previamente soldada.

Así pues, los elementos necesarios en este ensamblaje son: el posicionador de pulgar, el posicionador lateral de palma, la zapata para rótula, una perilla y una tuerca ya soldada, ambas de métrica 8.

En la siguiente imagen se aprecian los distintos elementos mencionados, su ensamblaje y su montaje en la pieza que posiciona los dedos:

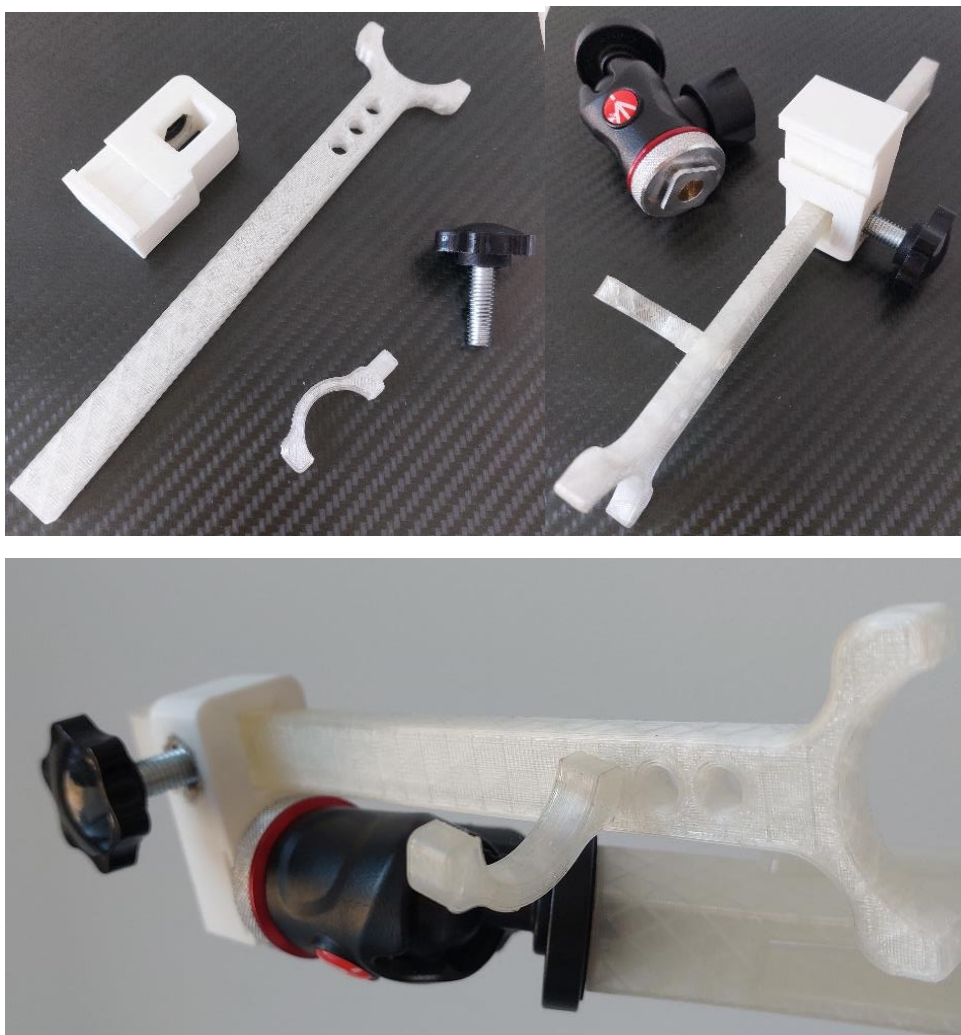


Figura 68. Ensamblaje de rótula, zapata y posicionadores de pulgar y palma.

13. Colocación de las tapas de la guía:

El último paso consiste en colocar las dos tapas que cubren las zonas más peligrosas de la guía de aluminio.

Se colocará y ajustará de forma manual, una en cada extremo de la guía, de forma que quede completamente ajustada al contorno de la pieza.

Con este último paso finaliza el montaje del prototipo diseñado.

En la siguiente imagen se muestra el conjunto de piezas, su colocación y el resultado tras su montaje.

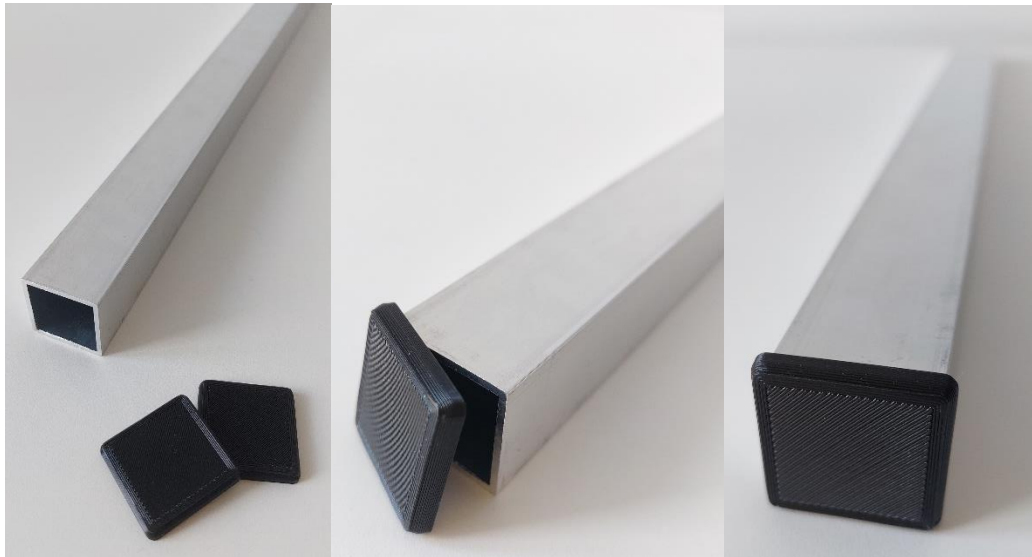


Figura 69. Colocación de las tapas de la guía.

4.2. Ensamblaje de la estructura completa.

Para poder observar de una manera más sencilla y rápida el montaje del prototipo paso a paso, se muestra la siguiente imagen, en la cual se comienza el montaje a partir del trípode y se aprecia el cambio de un paso a otro desde una perspectiva en la que se puede ver la estructura completa.

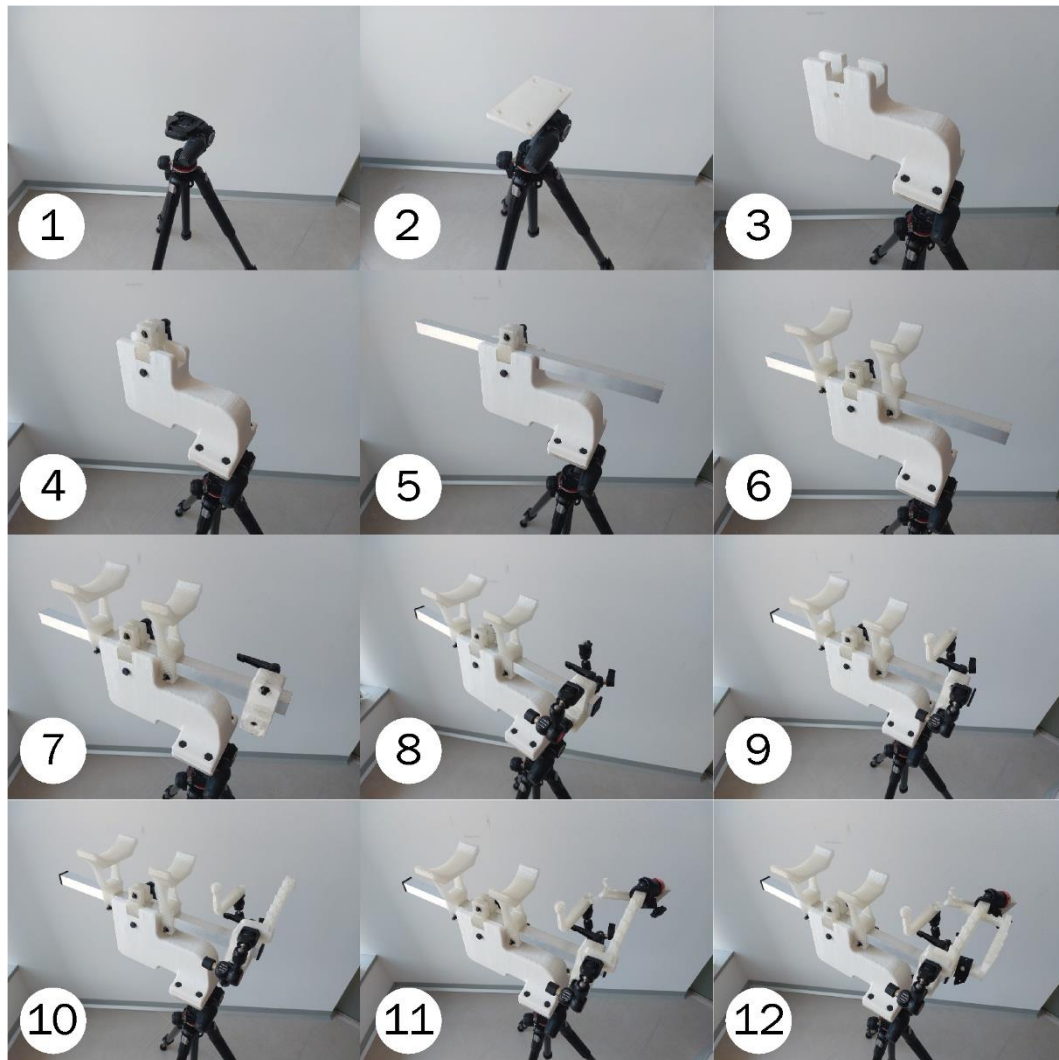


Figura 70. Ensamblaje por pasos de la estructura completa.

Capítulo 5. Posicionado y escaneado.

Las últimas tareas a realizar tras la fabricación y el ensamblaje del prototipo consisten en probar su funcionamiento y verificar los resultados obtenidos en cuanto al propio posicionado de la mano y muñeca y la calidad del escaneado que finaliza el objetivo de este proyecto.

5.1. Posicionado de mano y muñeca.

Para llevar a cabo la comprobación del posicionado se hizo necesario contar con un usuario que ejerciese resistencia al posicionado de los movimientos de la mano y la muñeca.

En el ejemplo que se muestra a continuación el usuario parte de una posición con la muñeca en aducción y algunos dedos en extensión.

A continuación, se detallan los pasos seguidos en el posicionado más óptimo de su mano y muñeca:

1. Colocación del antebrazo en los dos reposabrazos.
2. Apoyo de la mano en la sujeción de palma.



Figura 71. Pasos 1 y 2 posicionado de mano y muñeca.

3. Colocación del pulgar y sujeción de la palma.
4. Apoyo de la primera y tercera falange de los cuatro dedos con el posicionador de dedos y la deslizadera.



Figura 72. Pasos 3 y 4 posicionado de mano y muñeca.

5. Ajuste de la banda elástica para posicionar los dedos en extensión.
6. Resultado final ampliado de la zona de la muñeca y la mano.

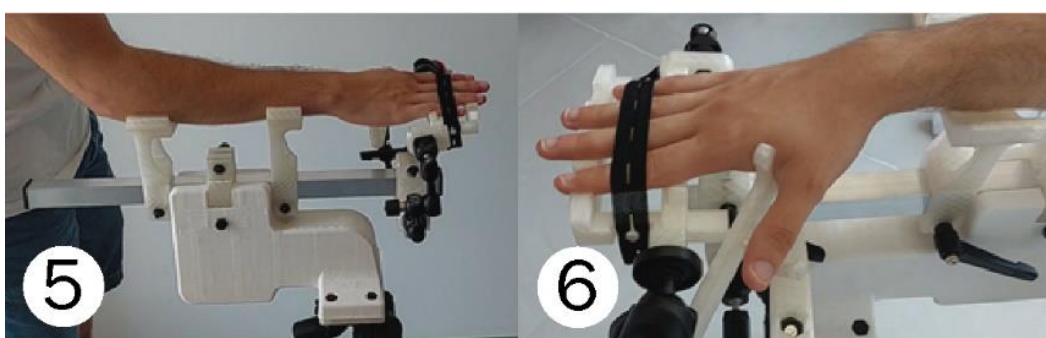


Figura 73. Pasos 5 y 6 posicionado de mano y muñeca.

5.2. Escaneado del brazo, mano y muñeca.

Por último, tras haber obtenido el posicionado más óptimo de la mano y de la muñeca, se procede a escanear dichos miembros mediante la utilización de un escáner manual.

El escáner se dirige de manera que su enfoque se apunte en todas las direcciones de la superficie del brazo para realizar un escaneado del miembro completo.

Las zonas del miembro que se encuentran apoyadas o sujetas con alguna pieza obstaculizan el proceso de escaneado.

Para realizar el escaneado no ha sido necesario contar con dianas o marcadores integrados sobre la estructura.

En la parte izquierda de la siguiente imagen se puede observar el proceso de escaneado, en el que mientras que el escáner lanza sucesivos haces de luz, el monitor detalla la generación del modelo a partir de la nube de puntos generada.

En la parte derecha de la imagen se observa con mayor detalle el modelo 3D generado.

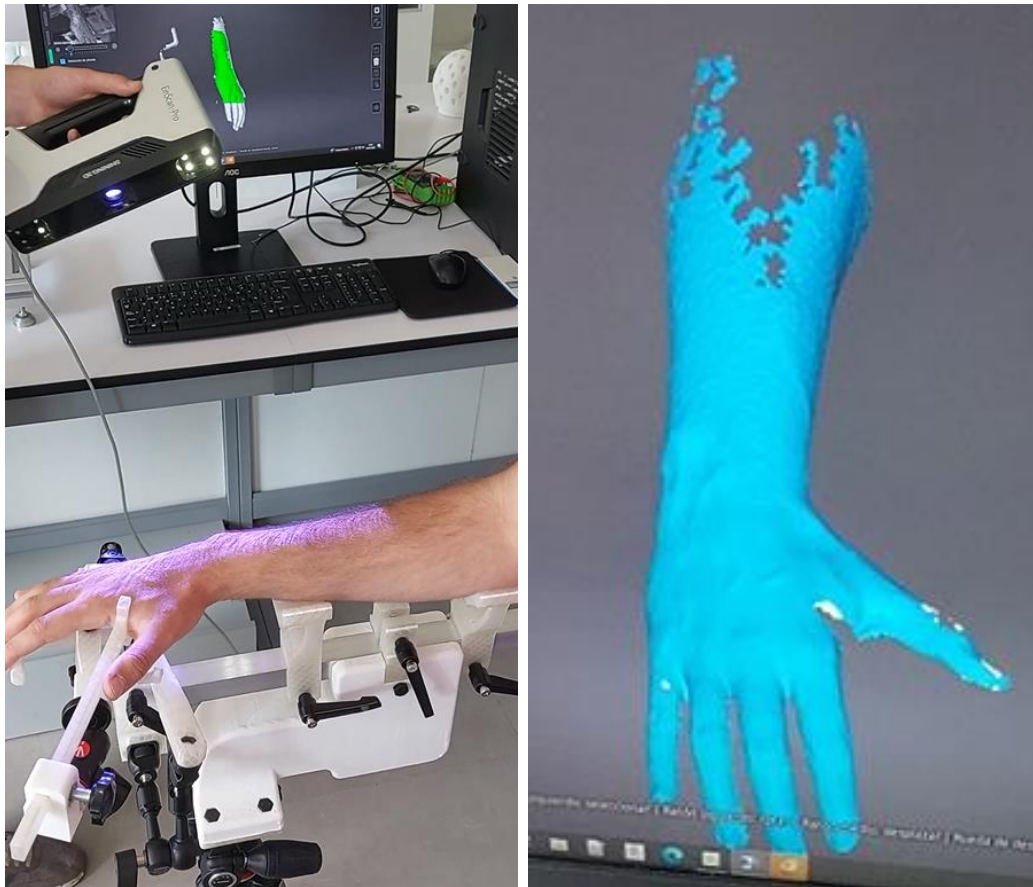


Figura 74. Escaneado del brazo, mano y muñeca y modelo 3D obtenido.

El objetivo del presente proyecto es el de conseguir posicionar la mano y muñeca, para, una vez obtenido el modelo 3D del miembro en su óptima posición, poder fabricar una ortesis a medida.

Por ello, tras el paso que completa la generación del modelo 3D del brazo, mano y muñeca, se procederá a diseñar y fabricar una ortesis avanzada e individualizada para cada usuario que le permitirá obtener una mejor rehabilitación del miembro afectado habiendo utilizado para ello todas las tecnologías de última generación empleadas en el proceso desarrollado.

Conclusiones.

A partir de los estudios realizados para analizar y comprender el funcionamiento de la mano humana con todas sus posibles posiciones y movimientos, y junto con el estudio de las alteraciones que pueden presentar en la mano y muñeca los usuarios que padecen una parálisis cerebralespástica se ha podido comprobar que estos miembros ofrecen una amplia gama de movilidad.

También se ha realizado un análisis del estado de la técnica buscando algún sistema o prototipo con la capacidad de posicionar la mano y la muñeca de la misma manera que se busca en el objetivo del presente proyecto, posicionar dichos miembros para conseguir la posición más óptima a escanear. El resultado de este análisis no fue de gran ayuda dado que todos los sistemas hallados no seguían el mismo objetivo y solo cumplían la función de una ortesis.

En el proceso inicial de diseño se comenzó a bocetar e idear prototipos que apenas obstaculizasen el escaneado final, que de manera liviana cumplieren la función de posicionar correctamente la muñeca y la mano de una manera mecánica y gradual.

Tras estudiar las primeras propuestas se consideró utilizar algunas de las ideas como la utilización de una deslizadera en el posicionado de los dedos o el empleo de sistemas de rótula para conseguir una gran movilidad de los elementos a utilizar en el prototipo final.

La última propuesta consistió en utilizar piezas que se posicionasen a través de un elemento transversal como una guía de aluminio, y que permitiesen apoyar el brazo, la muñeca y la mano obstaculizando la menor superficie posible.

Al finalizar el diseño, fabricación y ensamblaje del prototipo final, se ha puesto a prueba con diferentes usuarios, comprobando que se consigue mejorar la posición de la mano y muñeca respecto de su posición inicial.

Después de obtener el óptimo posicionado en dichos usuarios se realizó el escaneado en dos de ellos, comprobando que, a pesar de haberse diseñado un prototipo con elementos livianos, no se consigue un escaneado completo a falta de las zonas que se encuentran apoyadas u obstaculizadas por las piezas que constituyen el prototipo diseñado.

Como línea futura de trabajo se podría estudiar el rediseño de las piezas que obstaculizan zonas a escanear y modelar, en especial las zonas que cubren el pulgar y el resto de dedos en la zona inferior de la mano.

Bibliografía

- [1] OVACEN, «ovacen.com,» [En línea]. Available: <https://ovacen.com/esca-ner-3d-nube-de-puntos/>.
- [2] M. y. M. S. M. Wade Shrader, «KidsHealth,» noviembre 2021. [En línea]. Available: <https://kidshealth.org/es/parents/spastic-cp.html>.
- [3] Confederación ASPACE, «Aspace,» [En línea]. Available: <https://aspa-ce.org/tipos-de-paralisis-cerebral>. [Último acceso: 20 marzo 2022].
- [4] Dr. Miguel del Cerro & Cirugía de la Mano, «Cirugía de la mano,» [En línea]. Available: <https://cirugiadelamano.es/espasticidad-paralisis-cerebral/>. [Último acceso: abril 2022].
- [5] G. Pomares, «Gloria Pomares Especialista en parálisis cerebral,» mayo 2021. [En línea]. Available: <https://gloriapomares.com/tratamiento-ortopedi-co-mano-paralisis-cerebral/>. [Último acceso: abril 2022].
- [6] equipo de Naître et Grandeur, «naitre et grandir,» septiembre 2019. [En línea]. Available: https://naitreetgrandir.com/fr/etape/0_12_mois/developpe-ment/1_mois/fiche.aspx?doc=ik-naitre-grandir-bebe-1-mois-motricite-fine. [Último acceso: abril 2022].
- [7] I. G. Martín, «Manos robóticas,» de GENERALIZACIÓN DEL CÁLCULO DE AGARRES EN EL SIMULADOR SYNGRASP, Leganés, Madrid, Universidad Carlos III de Madrid, 2014, pp. 4-8.
- [8] R. Mostaza, «Apuntes de la asignatura "Sistemas mecánicos". Universidad de Valladolid,» [En línea].
- [9] U. C. M. Wilson, de Desarrollo de un mecanismo de muñeca con dos grados de libertad para una prótesis biomecánica de mano., Cuenca, Ecuador, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, 2018, p. 19.
- [10] J. G. Leija, «SlideShare,» 31 enero 2010. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/juangonzalezleija/exploracin-de-mueca>. [Último acceso: abril 2022].
- [11] «movernos,» [En línea]. Available: <http://movernos.com/sillas-de-rue-das/accesorios-sillas/posicionadordebrazoparasilladeruedas.html>. [Último acceso: abril 2022].

- [12] «amazon,» [En línea]. Available: <https://www.amazon.com/-/es/-Brunswick-Bionic-Posicionador-mu%C3%B1eca-derecha/dp/B01HF1DG5M>.
- [13] «Amazon,» [En línea]. Available: <https://www.amazon.com/-/es/entrenamiento-rehabilitaci%C3%B3n-accidentes-cerebrovasculares-hemiplejia/dp/B07L668V7V>. [Último acceso: abril 2022].
- [14] «MedicalExpo,» [En línea]. Available: <https://www.medicalexpo.es/product/wingmed/product-122099-949827.html>. [Último acceso: Abril 2022].
- [15] «Amazon,» [En línea]. Available: https://www.amazon.com/-/es/Dispositivo-recuperaci%C3%B3n-dispositivo-entrenamiento-rehabilitaci%C3%B3n/dp/B095KDXMN3/ref=sr_1_8?__mk_es_US=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crd=2W8683T3ONJY1&keywords=orthesis+hand+rehabilitation&qid=1655076381&prefix=ort. [Último acceso: abril 2022].
- [16] 3Dnatives 2022, «3Dnatives,» [En línea]. Available: <https://www.3dnatives.com/3D-compare/es/escaneres-3d/einscan-pro/>. [Último acceso: mayo 2022].
- [17] «Aliexpress,» [En línea]. Available: <https://es.aliexpress.com/item/4000417028946.html>. [Último acceso: mayo 2022].
- [18] B. J. M. Gómez, «Apuntes de la asignatura "Procesos Avanzados de Fabricación". Universidad de Valladolid».
- [19] «Creality 3D Shop,» [En línea]. Available: <https://creality3d.shop/products/3d-printer-sky-blue-color-pla-filament-1-75mm-accuracy-0-05-mm-1kg?lang=es>. [Último acceso: Mayo 2022].
- [20] «Manfrotto,» [En línea]. Available: <https://www.manfrotto.com/es-es/>. [Último acceso: Mayo 2022].
- [21] «Amazon,» [En línea]. Available: <https://www.amazon.es/GAH-Alberts-472856-hueco-cuadrado-aluminio/dp/B0029ZV8YQ>. [Último acceso: Mayo 2022].

[22] «Amazon,» [En línea]. Available: https://www.amazon.es/IN-CREWAY-M10x25-ciruela-tornillo-moleteado/dp/B07F31Y8H7/ref=sr_1_7?__mk_es_ES=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crid=2XCSW6JEQI8E7&keywords=tornillo%2Bde%2Bapriete&qid=1654688855&s=tools&sprefix=tornillo%2Bde%2Bapriete%2Cdiy%2C116&sr=. [Último acceso: 24 Mayo 2022].

[23] «Amazon,» [En línea]. Available: https://www.amazon.es/Sujeci%C3%B3n-Ajustable-Palanca-Carbono-Aleaci%C3%B3n/dp/B093L8MGG3/ref=pd_day0_scc1_1_5/260-3284403-4194625?pd_rd_w=tzbSp&content-id=amzn1.sym.0ff21a3e-4297-4047-87ec-ba06b6bc995e&pf_rd_p=0ff21a3e-4297-4047-87ec-ba06b6bc995e&pf_rd_r. [Último acceso: 24 Mayo 2022].

Anexo I. Elementos comerciales.

Índice de elementos comerciales.

1. Kit Trípode 290 Xtra con rótula 3 way.
2. Kit de brazo 244MICRO-AA con adaptadores.
3. Rótula Ball centrada 492 con Zapata Soporte.
4. Perfil cuadrado hueco 472863.
5. Manijas de Sujeción.
6. Perilla de estrella.
7. Elementos normalizados.
8. Escáner 3D.

1. Kit Trípode 290 Xtra con rótula 3 way.



Figura 38. Trípode comercial de la marca Manfrotto. [20]

Especificaciones:

Marca: Manfrotto

Peso: 2.52 Kg

Altura Máxima: 171.5 cm

Altura mínima: 42 cm

Tamaño Plegado: 70.7 cm

Tipo De Rótula: Rótula 3 Way

Carga Máxima: UNI/PdR 105:2021: 10 kg

Diámetro de la base: 60 mm

Acople (Parte Superior): Tornillo de 1/4"

Material: Aluminio, tecnopolímero

Rotación panorámica: 360°

Inclinación lateral: -30° / +90°

Tipo De Bloqueo De Patas: Bloqueo por palanca

2. Kit de brazo 244MICRO-AA con adaptadores.



Figura 40. Brazo articulado comercial de la marca Manfrotto. [20]

Especificaciones:

Marca: Manfrotto

Peso: 0.25 Kg

Carga máxima: 3 Kg

Longitud del brazo: 15 cm

Acople: (Parte Superior e Inferior): Rosca hembra de 1/4"

Tamaño plegado: 11.8 cm

Material: Aluminio

Color: Negro

3. Rótula Ball centrada 492 con Zapata Soporte.



Figura 41. Rótula de bola comercial de la marca Manfrotto. [20]

Especificaciones:

Marca: Manfrotto

Peso: 0.2 Kg

Dimensiones: 8.5 x 6.5 x 11 cm (largo x ancho x alto)

Carga máxima: 4Kg

Material: Aluminio

Tipo de acople (Inferior): Zapata estándar de aluminio

Tipo de acople (Superior): Rosca hembra de 1/4"

Color: Negro

4. Perfil cuadrado hueco 472863.



Figura 39. Guía o perfil cuadrado de aluminio. [21]

Especificaciones:

Marca: GAH-Alberts 472856

Material: Aluminio

Color: Blankes Aluminium

Dimensiones: 100x 2.5 x 2.5 cm (Largo x Ancho x Alto)

Espesor: 1.5 mm

Peso: 0.38 Kg

5. Manijas de Sujeción.



Figura 75. Manija comercial de sujeción. [23]

Especificaciones:

Marca: QIMEI-SHOP

Material: Zinc, Acero al carbono

Peso: 0.25 Kg

Rosca: M8

Longitud roscada: 40 mm

Tipo de mango: Ajustable de palanca

Color: negro

6. Perilla de estrella.



Figura 76. Perilla de estrella comercial. [22]

Especificaciones:

Marca: INCREWAY

Material: Hierro

Peso: 0.07 Kg

Rosca: M8

Longitud roscada: 25 mm

Tipo de agarre: Tornillo de mano

Estilo de cabeza: Knurled

Acabado exterior: Plástico

Color: negro

7. Elementos normalizados.

1. 934-W 952-17 TUERCA 8.8 3/8W
2. 934-W 635-11 TUERCA 8.8 1/4W
3. 933- 8X 30-125 TORNILLO C/ HEXAGONAL 8.8 TODO ROSCA
4. 934-M- 8-125 TUERCA 8.8



Figura 77. Elementos normalizados (tornillo y tuercas).

Especificaciones:

Material: Acero

Calidad: 8.8

8. Escáner 3D.



Figura 78. Escáner 3D de la marca Shining 3D. [16]

Especificaciones

Fabricante: Shining 3D

Modelo: EinScan Pro

Tecnología empleada: Luz estructurada

Dimensiones: 246 × 126 × 60 mm (9,69 × 4,96 × 2,36 in.)

Peso: 0.8 kg/ 1,8 lbs

Escaneo de color: no

Formato de exportación de archivos: obj, stl

Software: Einscan Software

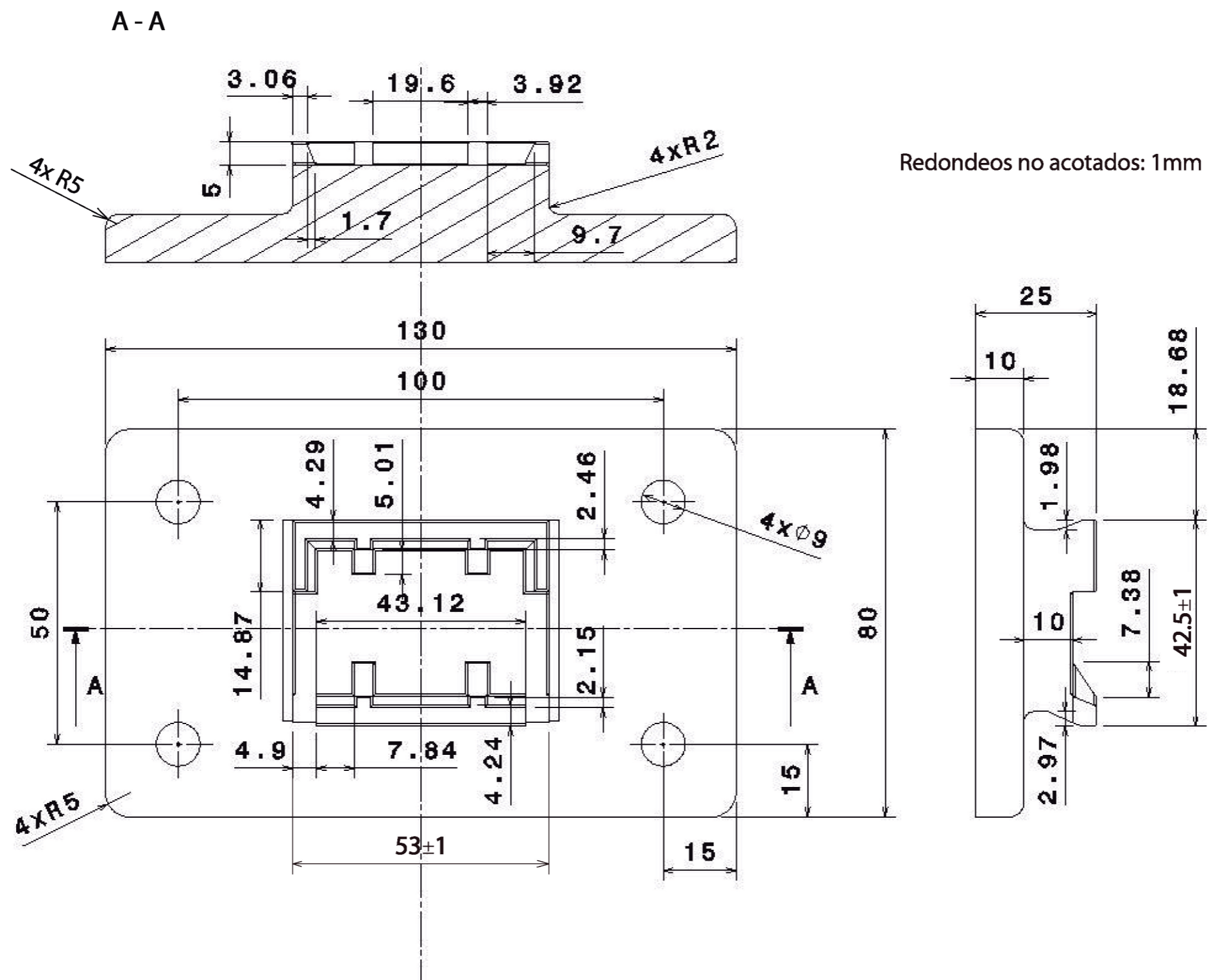
Compatibilidad del sistema operativo: Windows

Energía: 100V - 230V

Anexo II. Planos de las piezas diseñadas.

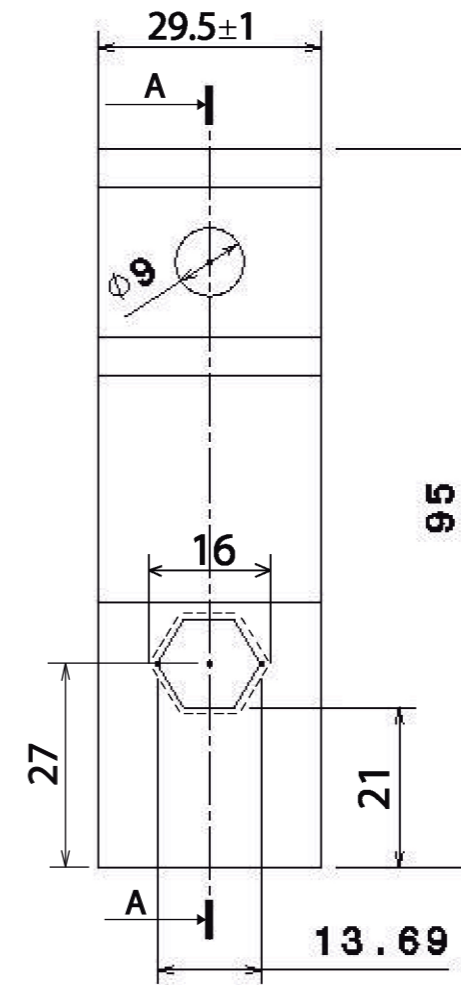
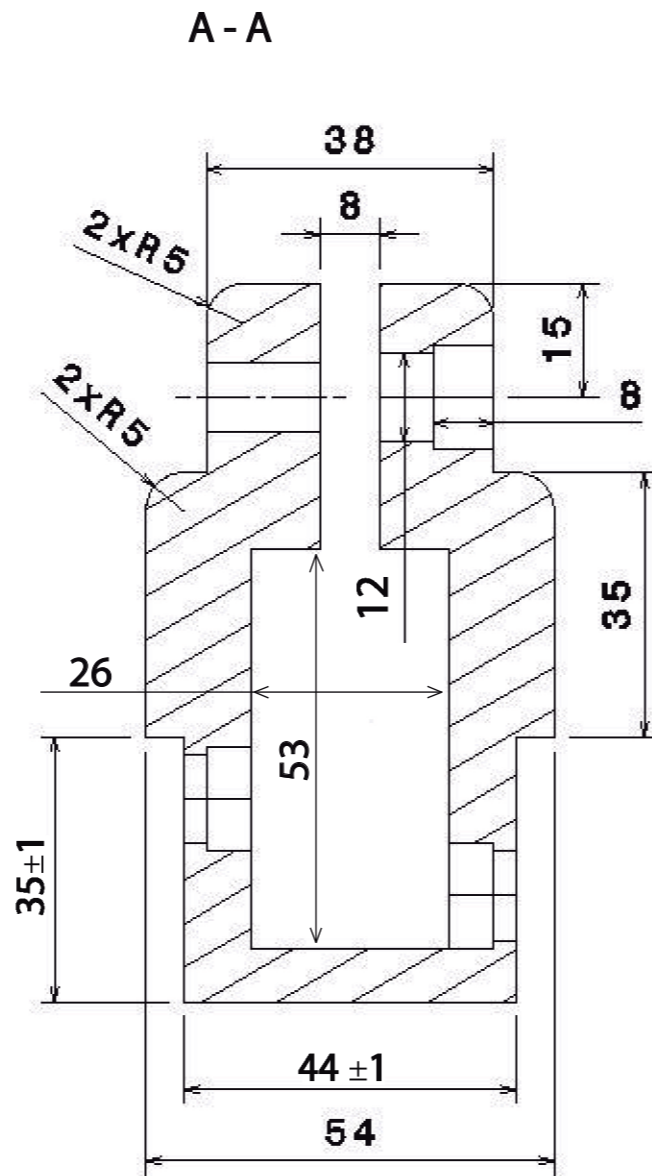
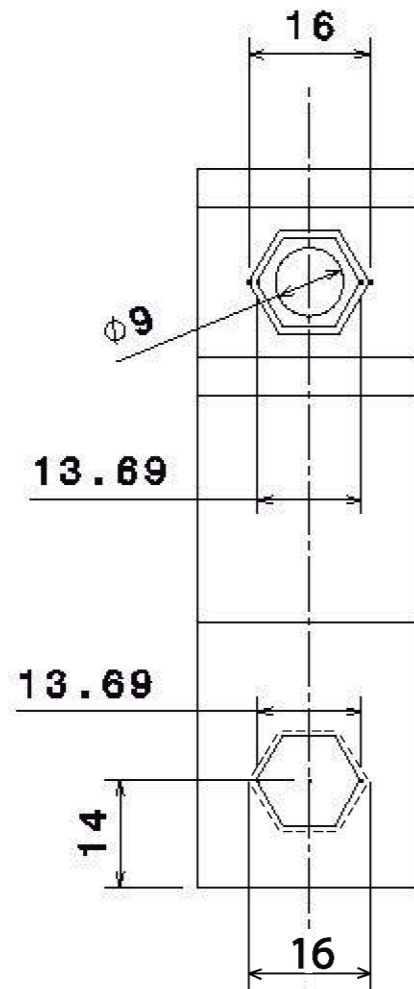
Índice de planos.

1. UNIÓN DE TRÍPODE.
2. CUERPO.
3. SUJECCIÓN DE GUÍA.
4. REPOSABRAZOS TRASERO.
5. REPOSABRAZOS DELANTERO.
6. SUJECCIÓN BRAZO 1/2.
7. SUJECCIÓN BRAZO 2/2.
8. POSICIONADOR DE PALMA.
9. ZAPATA PARA RÓTULA.
10. POSICIONADOR LATERAL DE PALMA
11. POSICIONADOR DE PULGAR.
12. POSICIONADOR DE DEDOS.
13. DESLIZADERA.
14. TAPAS GUÍA.

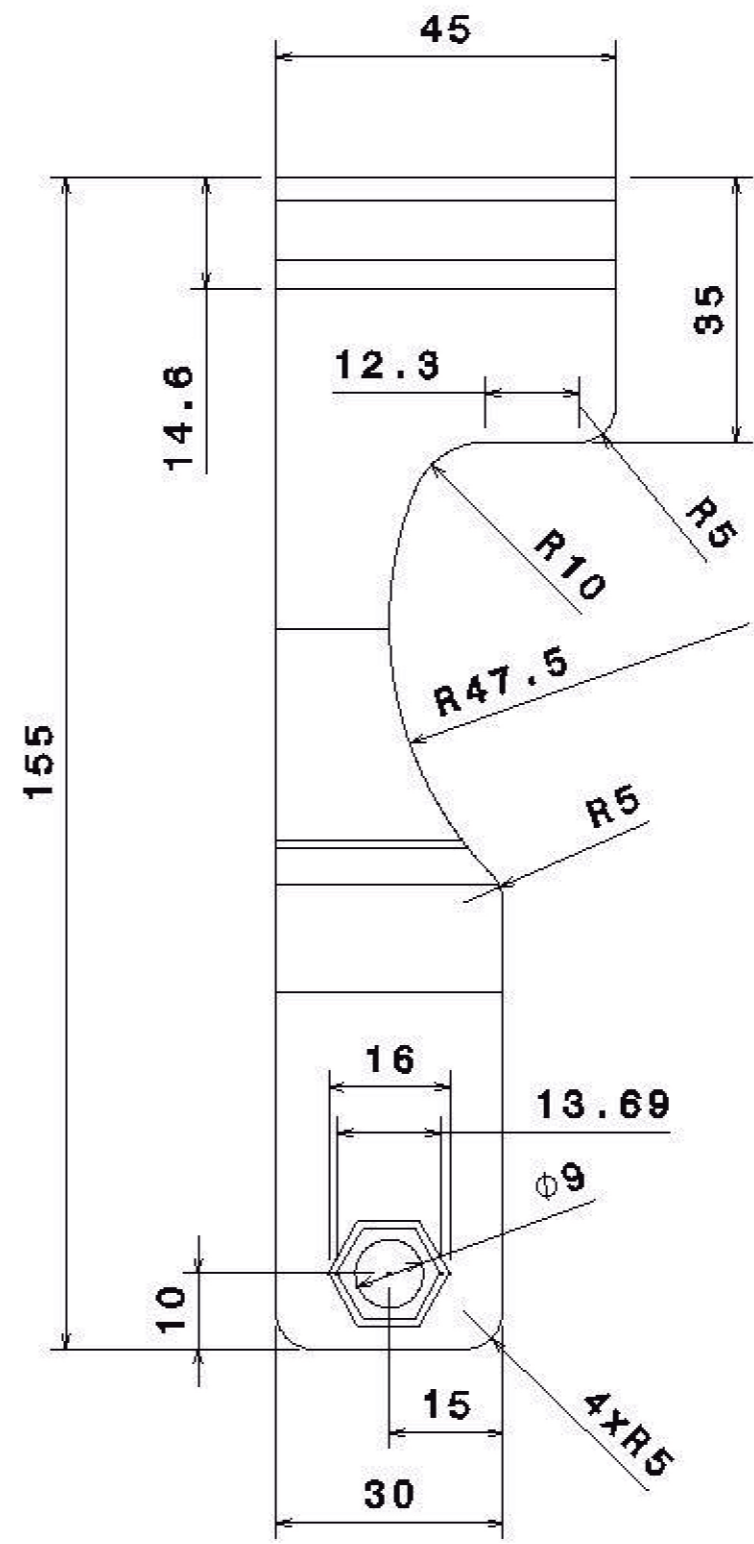
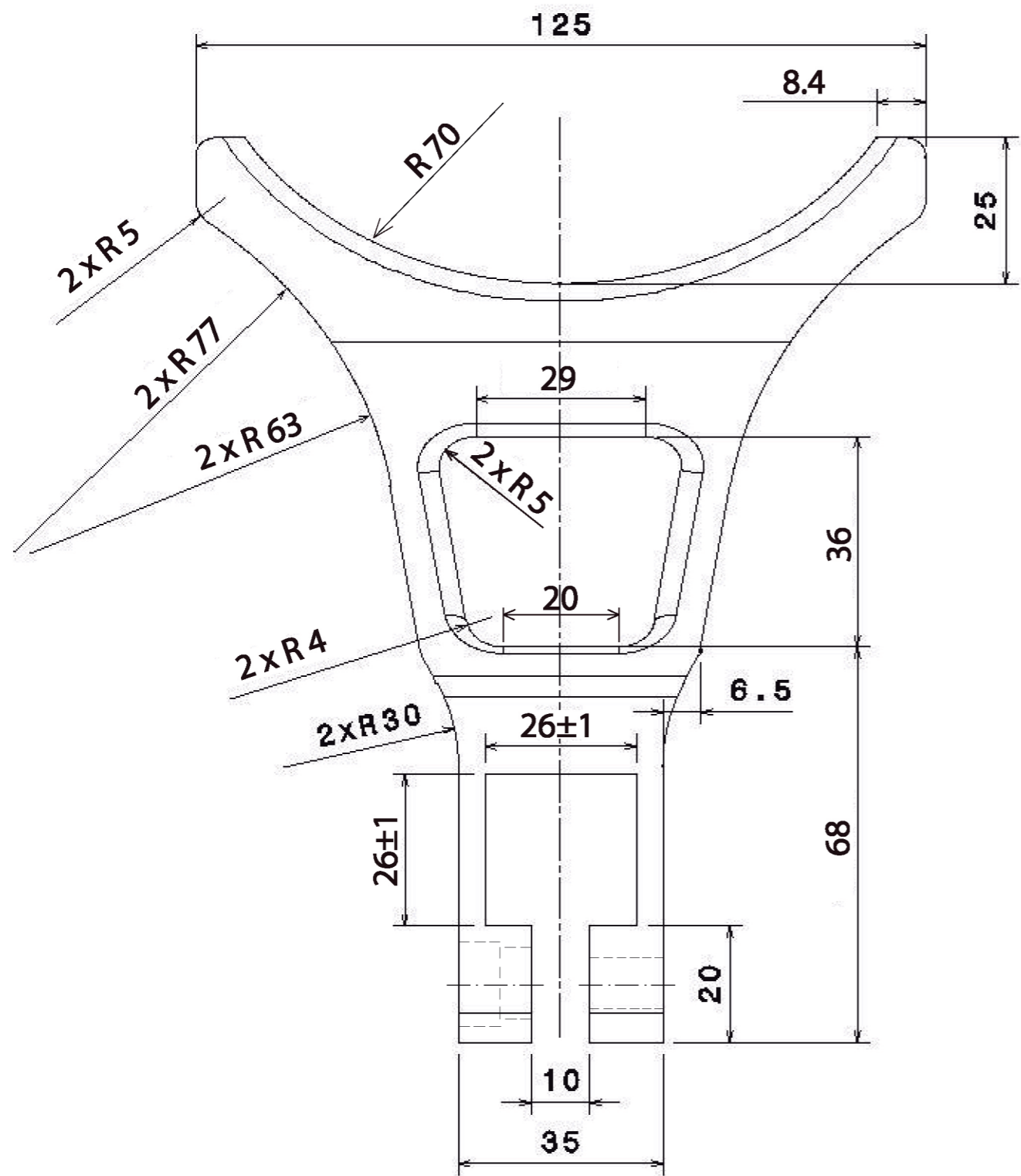


Redondeos no acotados: 1mm

Tolerancias generales: ISO 2768 - mK		UNIÓN DE TRÍPODE (POSICIONADOR DE MUÑECA Y MANO)		Realizado por: Álvarez Dehesa, Rodrigo	
Formato: A4				Trabajo de Fin de Grado Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto	
Escala: 1:1	Material: PLA	UNIVERSIDAD DE VALLADOLID Escuela de Ingenierías Industriales	Nº de Plano: 01/14	Fecha: Julio 2022	

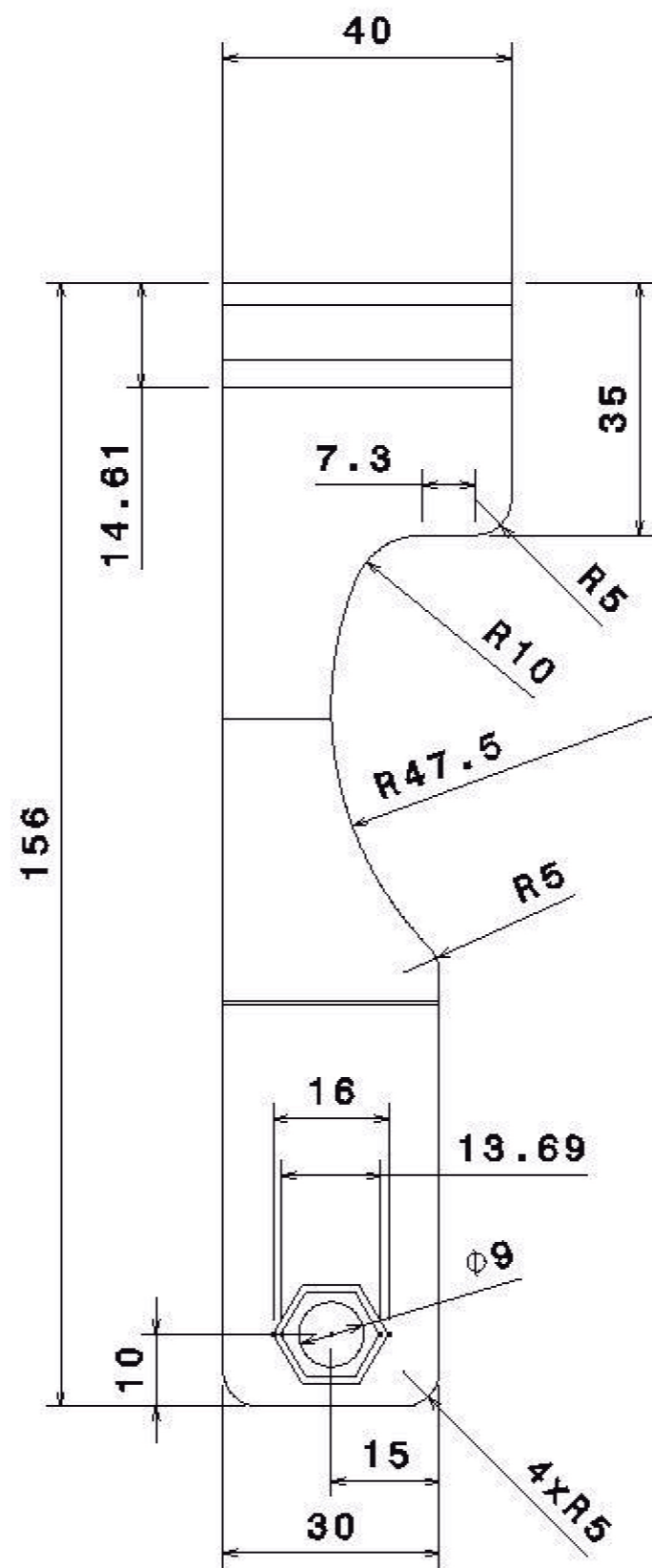
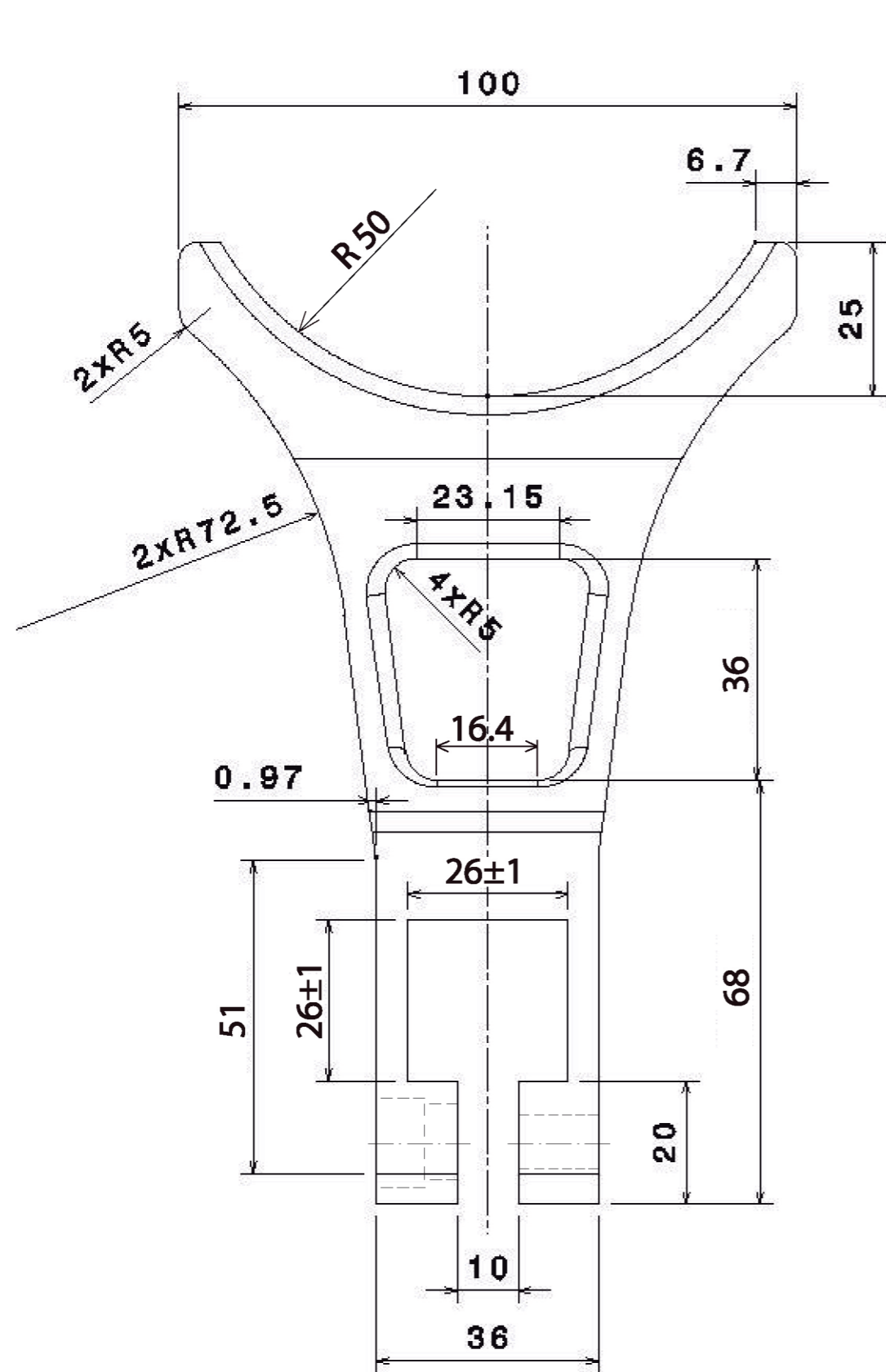


Tolerancias generales: ISO 2768 - mK		SUJECIÓN DE GUÍA (POSICIONADOR DE MUÑECA Y MANO)		Realizado por: Álvarez Dehesa, Rodrigo	
Formato: A3				Trabajo de Fin de Grado Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto	
Escala: 1:1	Material: PLA	UNIVERSIDAD DE VALLADOLID Escuela de Ingenierías Industriales	Nº de Plano: 03/14	Fecha: Julio 2022	



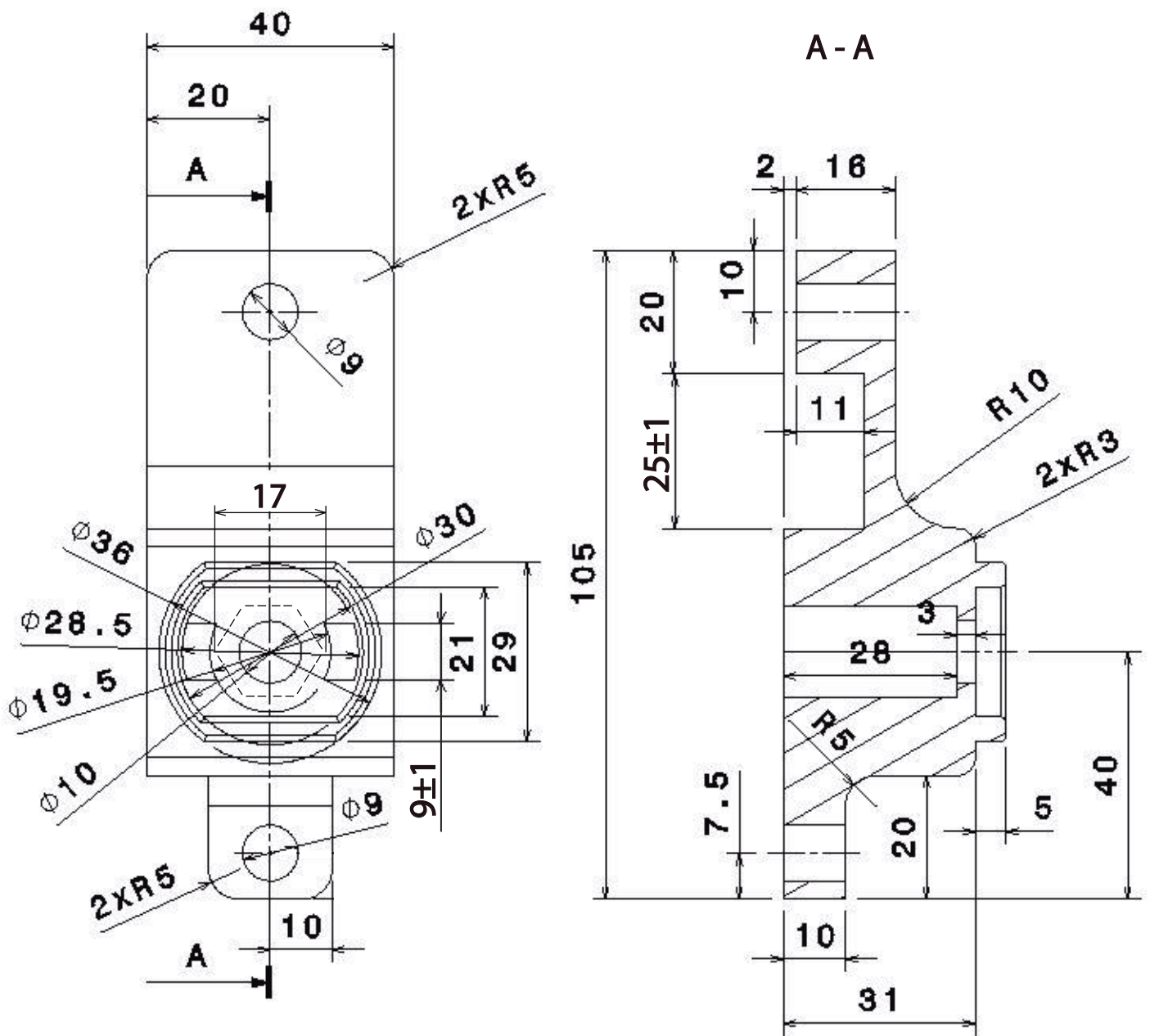
Redondeos no acotados: 3mm

Tolerancias generales: ISO 2768 - mK		REPOSABRAZOS TRASERO (POSICIONADOR DE MUÑECA Y MANO)		Realizado por: Álvarez Dehesa, Rodrigo	
Formato: A3				Trabajo de Fin de Grado Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto	
Escala: 1:1	Material: PLA	UNIVERSIDAD DE VALLADOLID Escuela de Ingenierías Industriales		Nº de Plano: 04/14	Fecha: Julio 2022



Redondeos no acotados: 3mm

Tolerancias generales: ISO 2768 - mK		REPOSABRAZOS DELANTERO (POSICIONADOR DE MUÑECA Y MANO)		Realizado por: Álvarez Dehesa, Rodrigo	
Formato: A3				Trabajo de Fin de Grado Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto	
Escala: 1:1	Material: PLA	UNIVERSIDAD DE VALLADOLID Escuela de Ingenierías Industriales	Nº de Plano: 05/14	Fecha: Julio 2022	



Redondeos no acotados: 1mm

Tolerancias generales:

ISO 2768 - mK

SUJECIÓN BRAZO 1/2

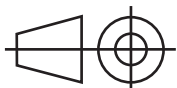
(POSICIONADOR DE MUÑECA Y MANO)

Realizado por:

Álvarez
Dehesa,
Rodrigo

Formato:

A4



Trabajo de Fin de Grado

Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto

Escala:

1 : 1

Material:

PLA

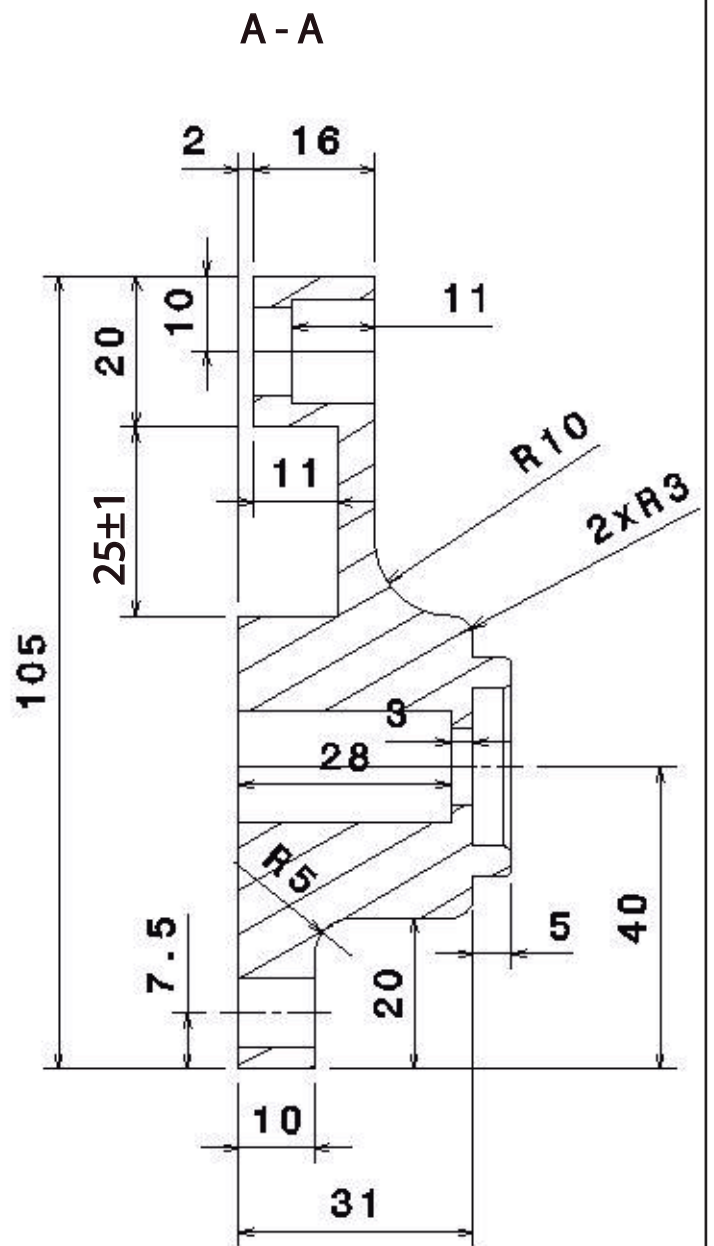
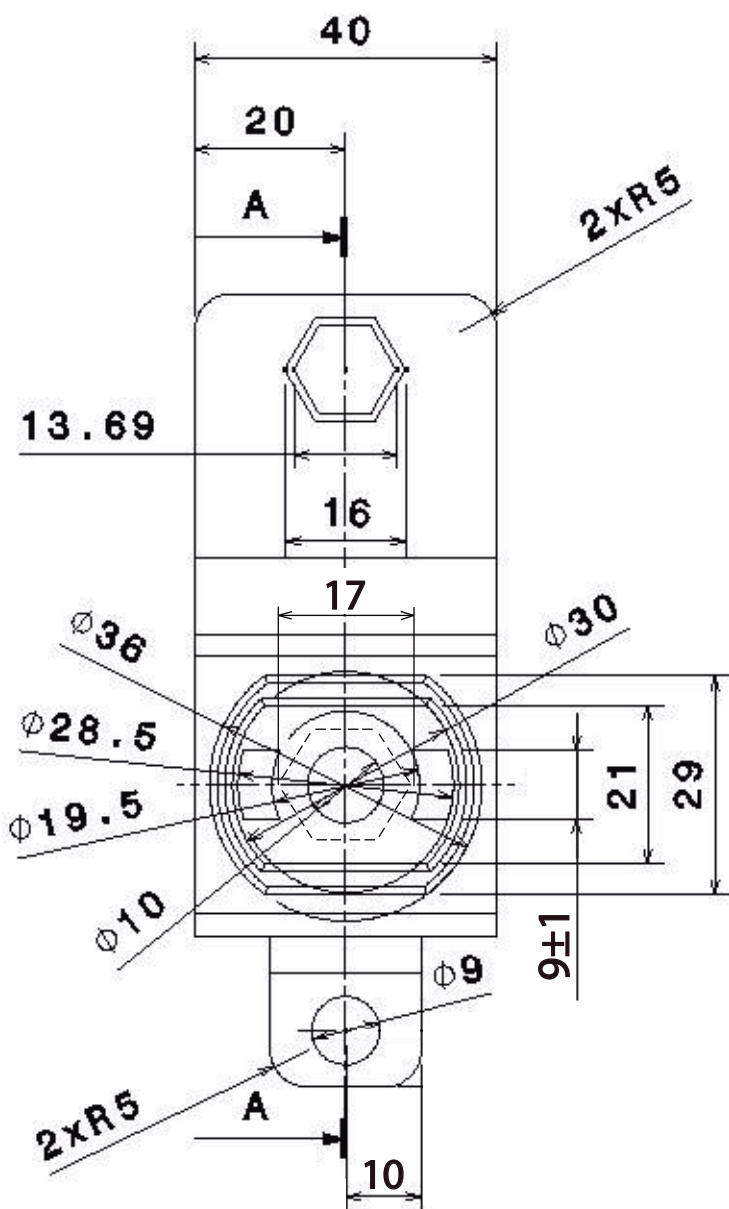
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
Escuela de Ingenierías Industriales

Nº de Plano:

06/14

Fecha:

Julio 2022



Redondeos no acotados: 1mm

Tolerancias generales:

ISO 2768 - mK

SUJECIÓN BRAZO 2/2

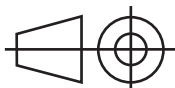
(POSICIONADOR DE MUÑECA Y MANO)

Realizado por:

Álvarez
Dehesa,
Rodrigo

Formato:

A4



Trabajo de Fin de Grado

Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto

Escala:

1 : 1

Material:

PLA

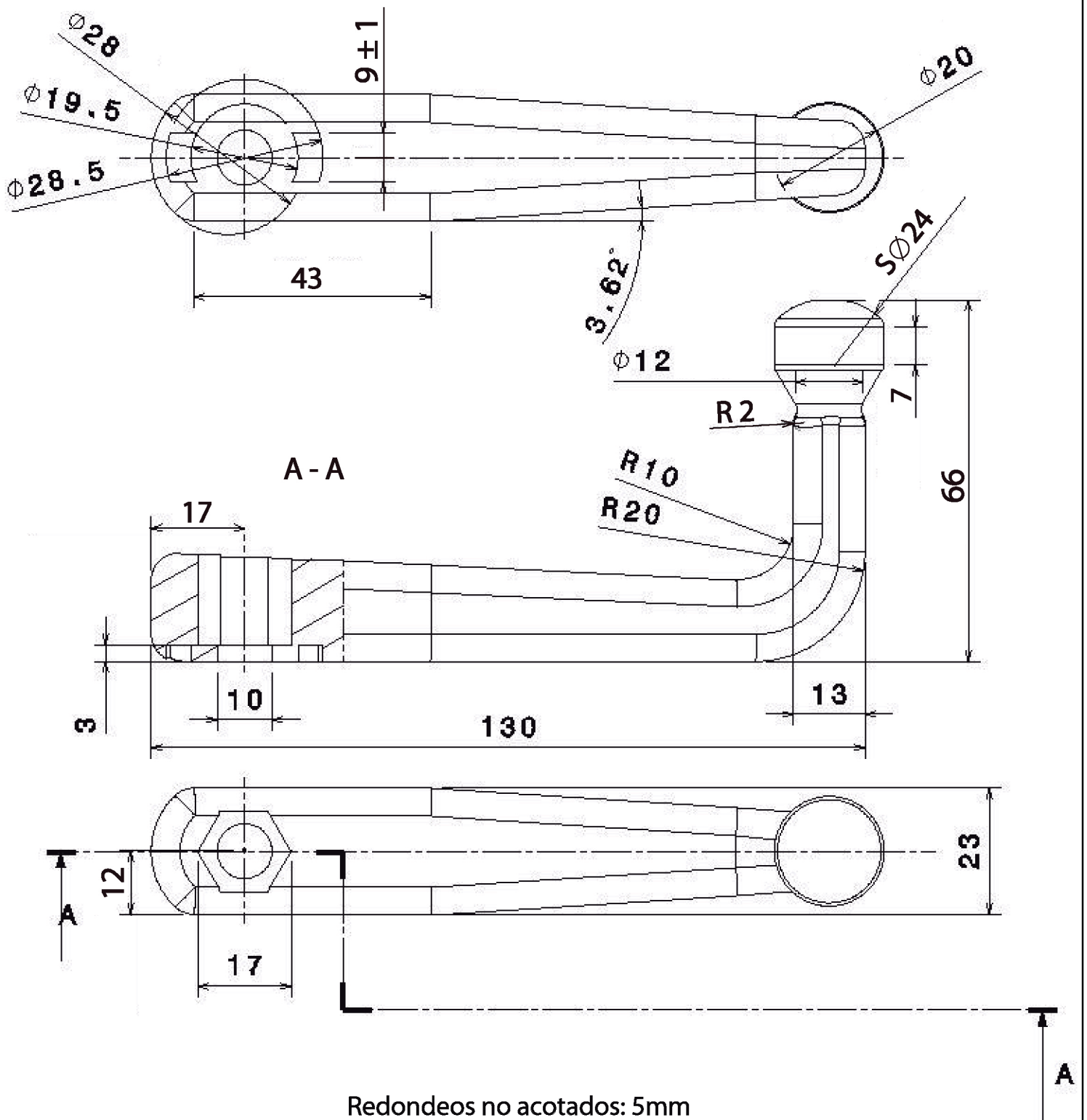
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
Escuela de Ingenierías Industriales

Nº de Plano:

07/14

Fecha:

Julio 2022



Tolerancias generales:

ISO 2768 - mK

POSICIONADOR DE PALMA

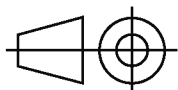
(POSICIONADOR DE MUÑECA Y MANO)

Realizado por:

Álvarez
Dehesa,
Rodrigo

Formato:

A4



Trabajo de Fin de Grado

Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto

Escala:

1:1

Material:

PLA

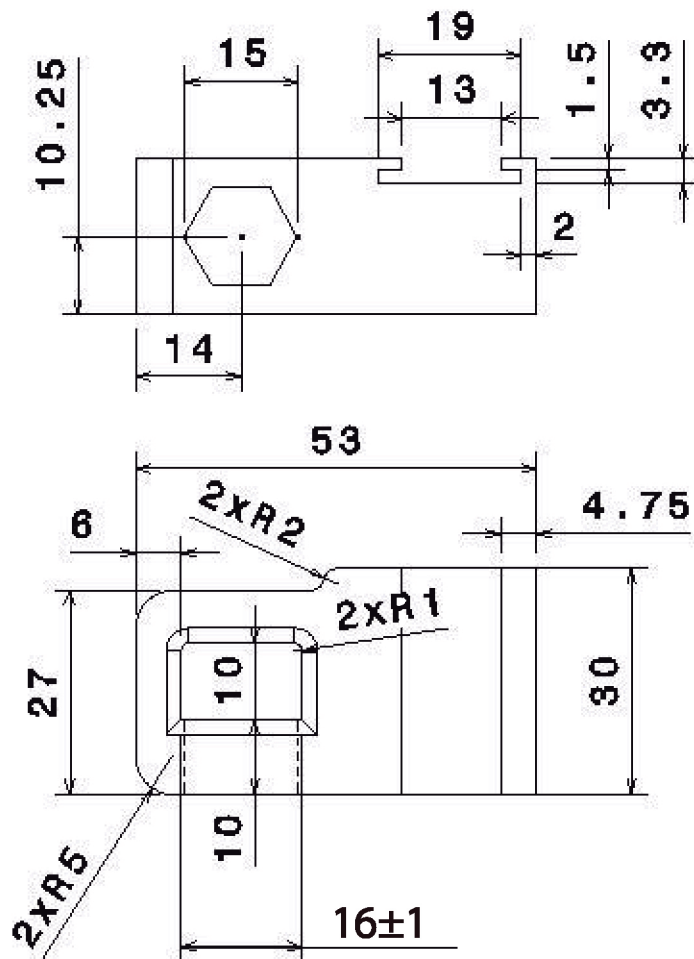
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
Escuela de Ingenierías Industriales

Nº de Plano:

08/14

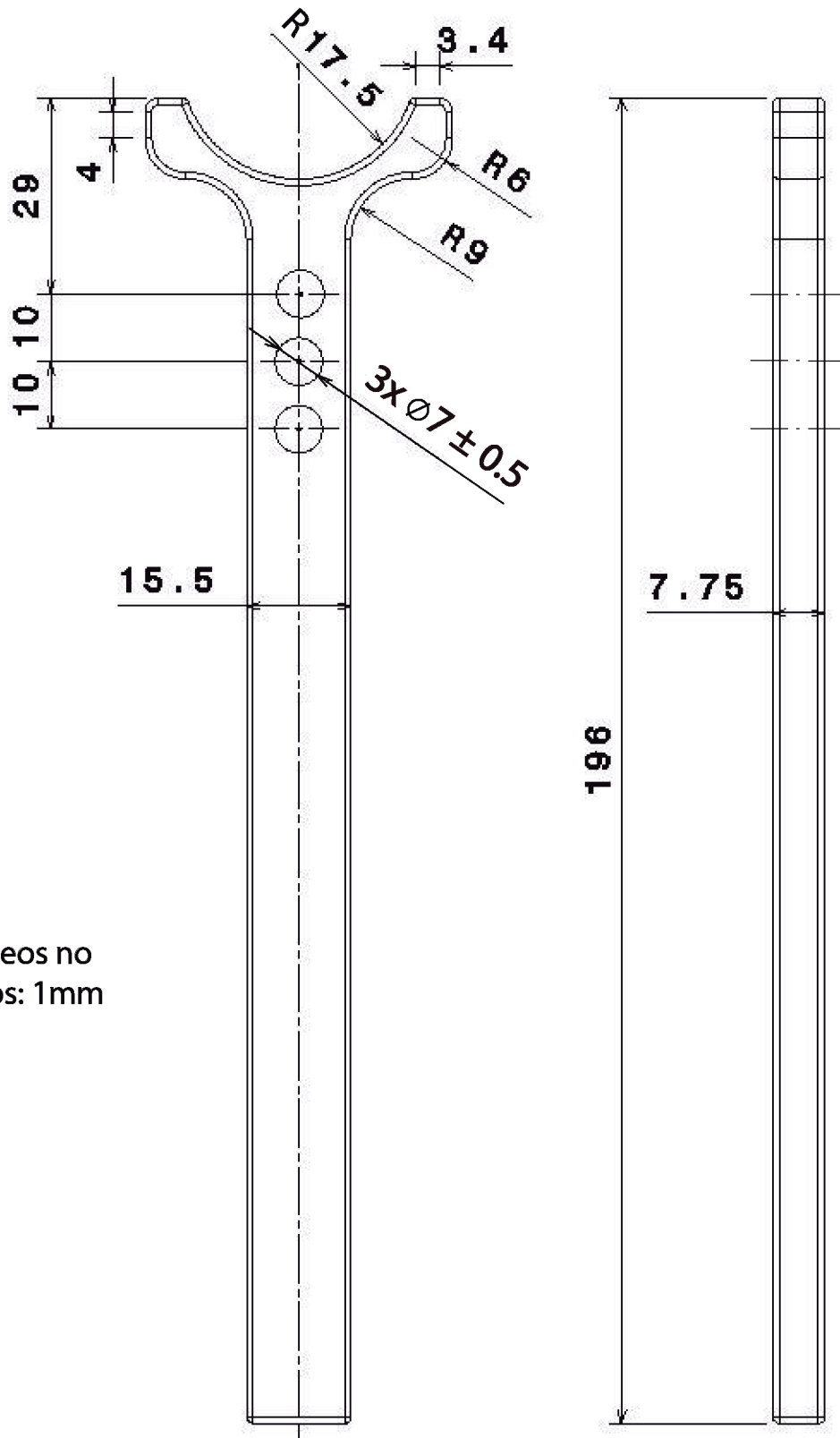
Fecha:

Julio 2022



Redondeos no acotados: 2mm

Tolerancias generales: ISO 2768 - mK		ZAPATA PARA RÓTULA (POSICIONADOR DE MUÑECA Y MANO)		Realizado por: Álvarez Dehesa, Rodrigo
Formato: A4		Trabajo de Fin de Grado Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto		
Escala: 1 : 1	Material: PLA	UNIVERSIDAD DE VALLADOLID Escuela de Ingenierías Industriales	Nº de Plano: 09/14	Fecha: Julio 2022



Redondeos no acotados: 1mm

Tolerancias generales:

ISO 2768 - mK

POSICIONADOR LATERAL DE PALMA

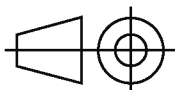
(POSICIONADOR DE MUÑECA Y MANO)

Realizado por:

Álvarez
Dehesa,
Rodrigo

Formato:

A4



Trabajo de Fin de Grado

Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto

Escala:

1 : 1

Material:

PLA

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

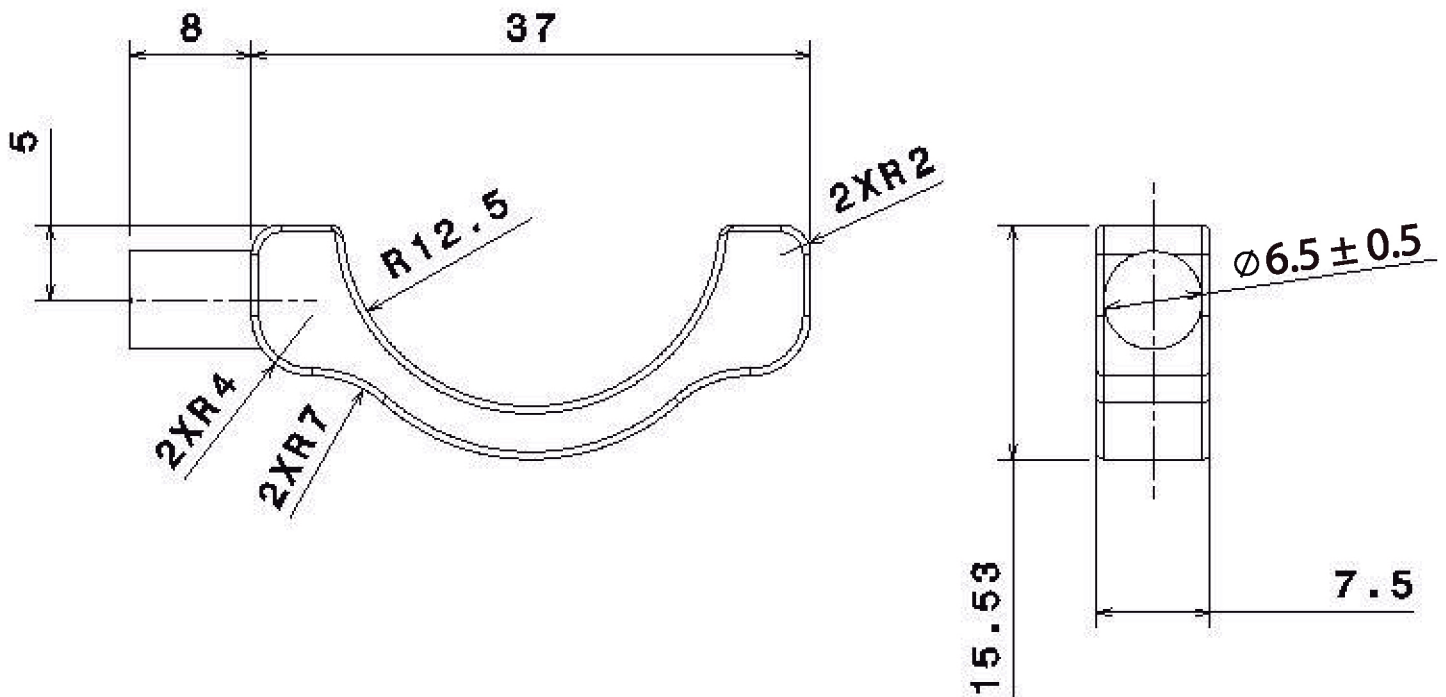
Escuela de Ingenierías Industriales

Nº de Plano:

10/14

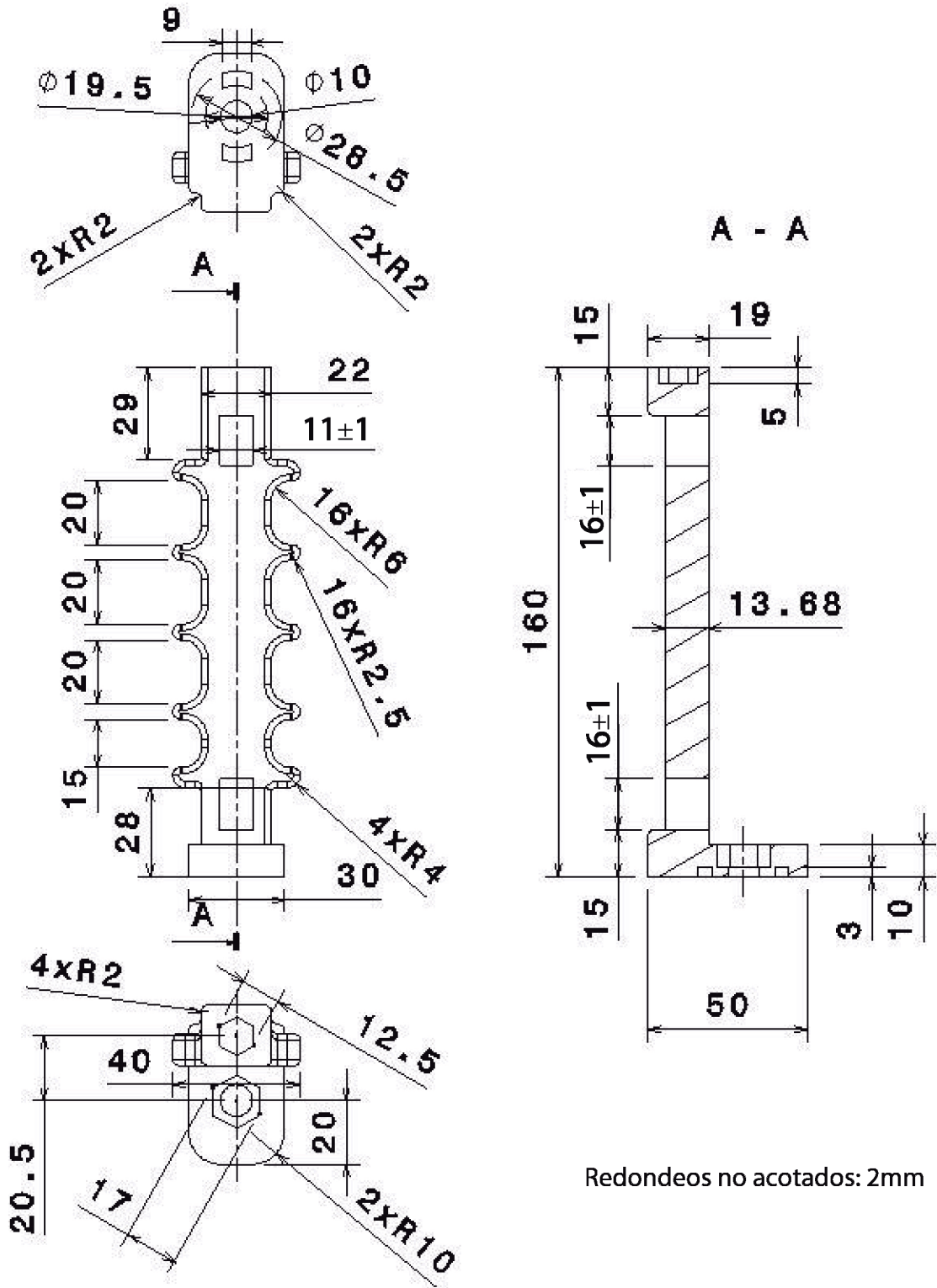
Fecha:

Julio 2022



Redondeos no acotados: 0.5mm

Tolerancias generales: ISO 2768 - mK		POSICIONADOR DE PULGAR (POSICIONADOR DE MUÑECA Y MANO)		Realizado por: Álvarez Dehesa, Rodrigo
Formato: A4		Trabajo de Fin de Grado Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto		
Escala: 2:1	Material: PLA	UNIVERSIDAD DE VALLADOLID Escuela de Ingenierías Industriales	Nº de Plano: 11/14	Fecha: Julio 2022



Tolerancias generales:

ISO 2768 - mK

POSICIONADOR DE DEDOS

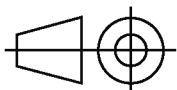
(POSICIONADOR DE MUÑECA Y MANO)

Realizado por:

Álvarez
Dehesa,
Rodrigo

Formato:

A4



Trabajo de Fin de Grado

Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto

Escala:

1 : 2

Material:

PLA

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

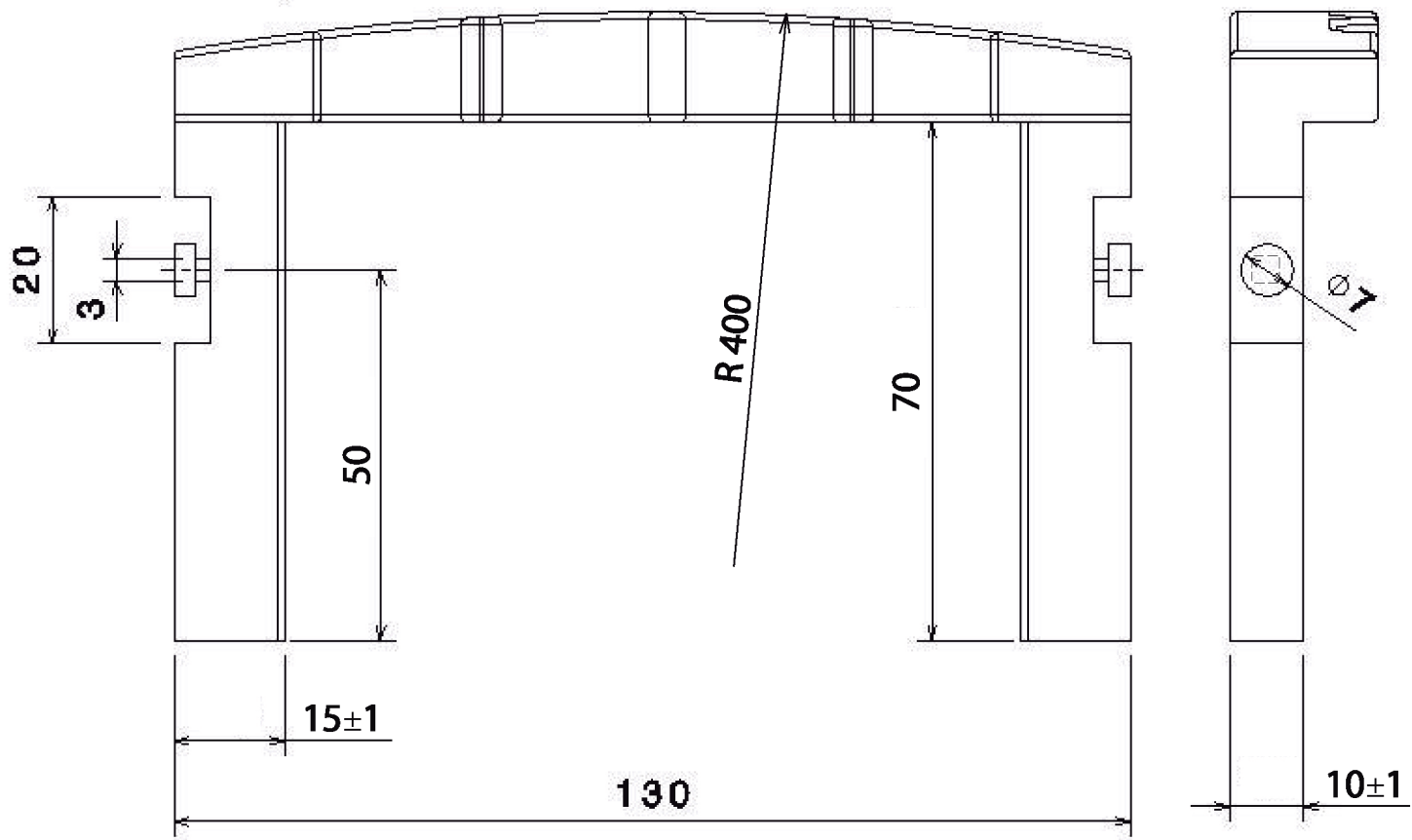
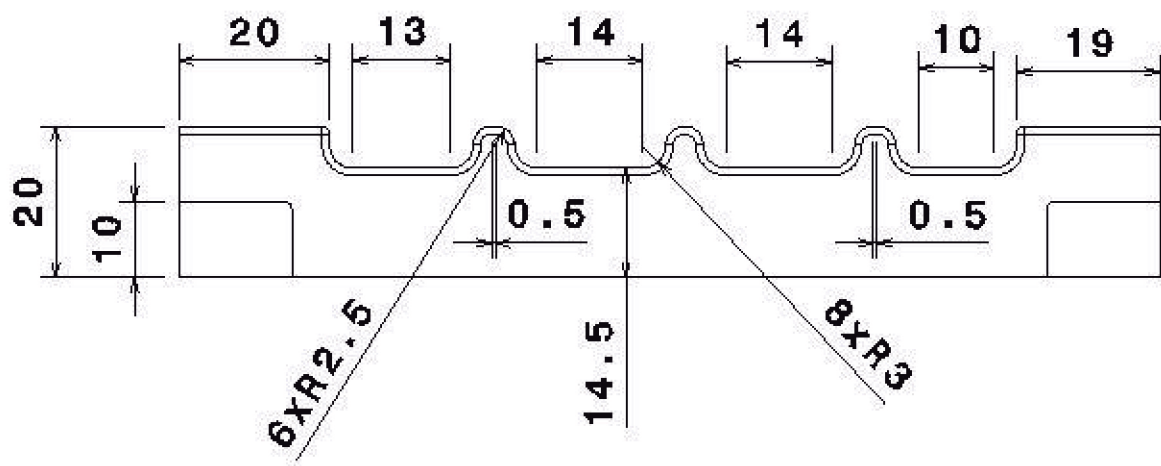
Escuela de Ingenierías Industriales

Nº de Plano:

12/14

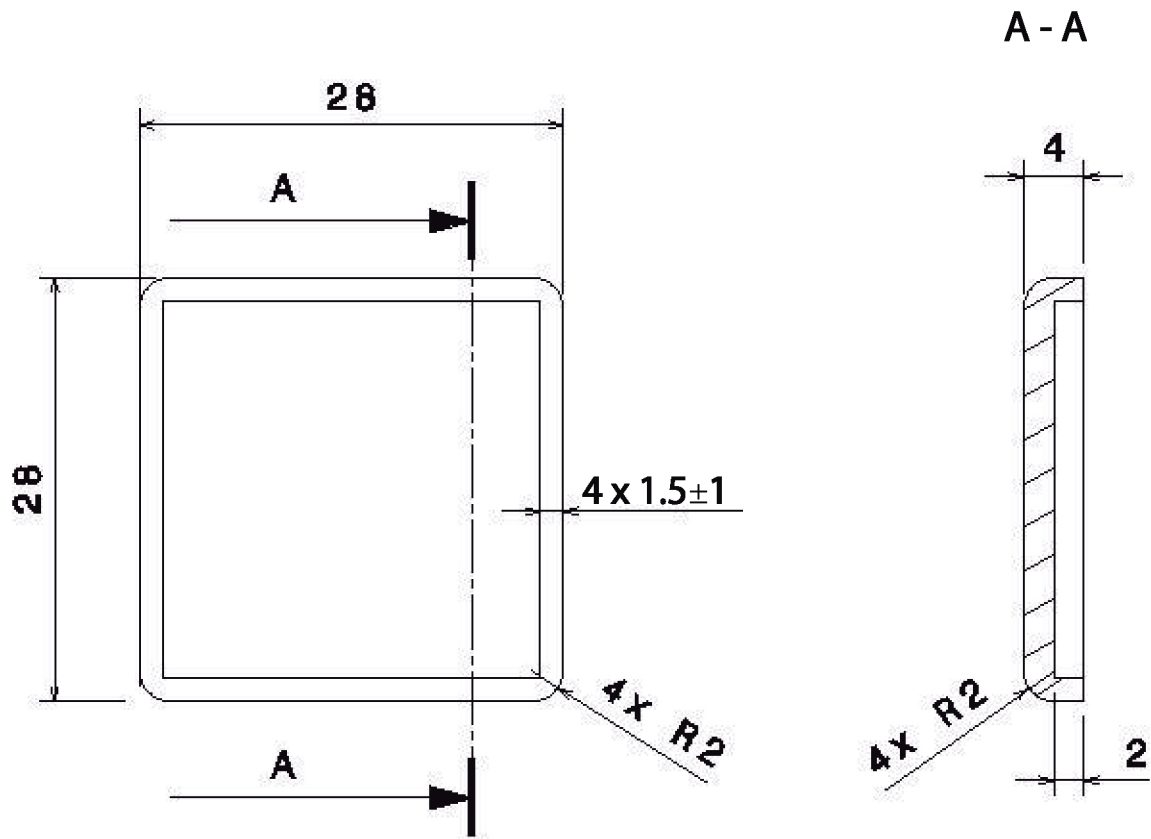
Fecha:

Julio 2022



Redondeos no acotados: 1mm

Tolerancias generales: ISO 2768 - mK		DESLIZADERA (POSICIONADOR DE MUÑECA Y MANO)		Realizado por: Álvarez Dehesa, Rodrigo
Formato: A4		Trabajo de Fin de Grado Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto		
Escala: 1 : 1	Material: PLA	UNIVERSIDAD DE VALLADOLID Escuela de Ingenierías Industriales	Nº de Plano: 13/14	Fecha: Julio 2022



Tolerancias generales:

ISO 2768 - mK

TAPAS GUÍA

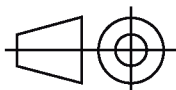
(POSICIONADOR DE MUÑECA Y MANO)

Realizado por:

Álvarez
Dehesa,
Rodrigo

Formato:

A4



Trabajo de Fin de Grado

Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto

Escala:

2:1

Material:

PLA

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

Escuela de Ingenierías Industriales

Nº de Plano:

14/14

Fecha:

Julio 2022