



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA



**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**

**Ingeniería Mecánica, Térmica y de Fluidos**

**Ingeniería Mecánica**

# **TRABAJO FIN DE GRADO**

**DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON  
SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA  
MANO**

Grado en

Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo del Producto

Autor: PALOMA REYES TEJEDOR

Tutor: ALEX BATALLER TORRAS

MÁLAGA, enero de 2023





## **AGRADECIMIENTOS**

Estos meses he tenido la suerte de poder ampliar mis conocimientos y aplicarlos satisfactoriamente en un campo que siempre he tenido interés en desarrollar como es la biomecánica. Mi objetivo fundamental de inmersión en los grados que he cursado siempre ha sido el desarrollo de productos que mejoren la calidad de las personas, ayudándolas en su día a día. Realizar este proyecto me ha permitido estar en contacto con personas especializadas que me han guiado en el proceso.

Agradezco enormemente la confianza que mi tutor Alex Bataller Torras ha depositado en mí desde un principio para el desarrollo de este proyecto y el tiempo y atención que me ha dedicado siempre en todo el proceso de este Trabajo de Fin de Grado.

Llegar hasta aquí no hubiera sido posible sin el apoyo de mi familia, pareja y amigos los cuales me han estado acompañando en estos largos años traducibles en una montaña rusa de emociones y sensaciones, pero sin lugar a dudas completamente satisfactorios.



## **RESUMEN**

El presente Trabajo de Fin de Grado pretende llegar a marcar un antes y un después en la evolución y desarrollo de férulas ortopédicas, un material sanitario que a nivel económico no se encuentra disponible para un amplio marco de la población y cuyos materiales dificultan su uso.

Con este proyecto se pretende crear una férula dinámica de muñeca con un amplio número de funciones para pacientes con problemas de movilidad, cognitivos, posibles fisuras y, especialmente, en pacientes con rotura de tendones flexores de los dedos de la mano. El motivo del enfoque centrado en esta última premisa es el elevado porcentaje de operaciones de tendones causados por cortes en el trabajo manual y es que, a pesar de esto, hoy en día todavía no hay disponible un sistema de ayuda y rehabilitación postoperatorio específico.

Además, esta férula está al alcance de toda la población gracias a su bajo coste, aporta gran calidad de comodidad gracias a su elevada ligereza conseguida por medio del uso de impresión aditiva y tiene un diseño muy sencillo que permite ser usado sin limitación alguna de conocimientos específicos.

Gracias a su diseño modular se ha conseguido también un producto sostenible, cuyas piezas pueden ser recicladas por separado y sustituidas de manera individual sin necesidad de desperdiciar la ortesis completamente en caso de fisuras o roturas.

Cabe destacar que su posibilidad de personalización mejorará la calidad del proceso de rehabilitación reflejándose, por consiguiente, en una mejora de la calidad de vida del paciente.

## **PALABRAS CLAVE**

Férula, rehabilitación, muñeca, impresión 3D

## **ABSTRACT**

This Final Degree Project aims to mark a before and after in the evolution and development of orthopedic splints, a health material that is not economically available for a wide range of the population and whose materials make its use difficult.

This project aims to create a dynamic wrist splint with a wide range of functions for patients with mobility problems, cognitive problems, possible fissures and, especially, in patients with ruptured flexor tendons of the fingers of the hand. The reason for the focus on this last premise is the high percentage of tendon operations caused by cuts in manual work and, despite this, there is still no specific postoperative support and rehabilitation system available today.

In addition, this splint is within the reach of the entire population thanks to its low cost, provides high quality comfort thanks to its high lightness achieved through the use of additive printing and has a very simple design that allows it to be used without any limitation of specific knowledge.

Thanks to its modular design, a sustainable product has also been achieved, whose parts can be recycled separately and replaced individually without the need to waste the entire orthosis in case of cracks or breakage.

It should be noted that the possibility of personalization will improve the quality of the rehabilitation process, thus improving the patient's quality of life.

## **KEYWORDS**

Splint, rehabilitation, wrist, 3D printing

# **INDICE**

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

DOCUMENTO N°2. PLANOS

DOCUMENTO N°3 PRESUPUESTOS





## **DOCUMENTO N°1. MEMORIA**



## **ÍNDICE**

1. INTRODUCCIÓN.....	9
1.1 Objeto .....	9
1.2 Estado del arte y justificación del proyecto.....	9
1.3 Alcance .....	14
2. NORMAS, RECOMENDACIONES Y REFERENCIAS .....	15
2.1 Normativa y recomendaciones aplicadas .....	15
2.1.1 Normativa referente a la redacción del proyecto.....	15
2.1.2 Normativa referente al desarrollo del proyecto .....	15
2.2 Referencias a programas utilizados .....	16
3. METODOLOGÍA.....	17
4. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS .....	19
5. ANTECEDENTES .....	20
5.1 Estudio de mercado .....	20
5.2 Síntesis de aplicaciones médicas .....	31
5.2.1 La muñeca.....	31
5.2.2 La mano .....	32
5.2.3 El Antebrazo .....	33
5.3 Síntesis de la recopilación de datos .....	34
5.3.1 Software empleado .....	34
5.3.2 Selección de datos .....	35
5.4 Directrices estudio ergonómico .....	39
5.4.1 Análisis de movimiento .....	39
5.4.2 Análisis de carga.....	43
5.5 Innovación y directrices del diseño final .....	45
5.5.1 Función práctica .....	46
5.5.2 Función formal-estética .....	47
5.5.3 Función símbolo-comunicativa .....	48
5.5.4 Resumen características fundamentales .....	49
6. PROPUESTA DE DISEÑO .....	50
6.1 Bocetos iniciales .....	50
6.1 Selección del diseño final .....	53

# DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

7. ESTUDIO ERGONÓMICO .....	54
7.1 Objetivos ergonómicos .....	54
7.2 Parametrización y diseño .....	54
Agarre mano: .....	55
Agarre antebrazo.....	57
Guía reguladora .....	60
8. SOLUCIONES Y PROCESO VIRTUAL.....	61
8.1 Prototipado virtual .....	61
8.2 Análisis teórico virtual.....	62
9. SOLUCIONES Y PROCESO FÍSICO.....	66
9.1 Preparación para la impresión 3D .....	66
9.2 Pruebas prototipado .....	67
9.3 Rediseño y prototipo final .....	69
9.4 Análisis experimental del prototipo.....	70
9.5 Análisis teórico manual .....	71
10. CONCLUSIONES.....	74
11. LÍNEAS DE FUTURO.....	75
12. DISEÑO DE IMAGEN .....	76
13. ANEXOS .....	78
13.1 Materiales .....	78
13.1.1 Información y especificaciones de la Resina TR300 de Phrozen.....	78
13.1.2 Información y especificaciones del plastazote autoadhesivo .....	80
13.1.3 Información y especificaciones del velcro .....	81
13.2 Fundamentos del campo de la medicina.....	82
13.2.1 La muñeca.....	82
13.2.1.1 Anatomía de la muñeca .....	82
13.2.1.2 Definición de los movimientos de la muñeca.....	85
13.2.1.3 Acción de los músculos motores de la muñeca .....	86
13.2.2 La mano .....	87
13.2.2.1 Arquitectura de la mano .....	87
13.3 Toma y recopilación de datos .....	90
13.3.1 Conceptos antropométricos .....	90
13.3.2 Proceso de recogida de datos.....	91
13.4 Protocolo de rehabilitación.....	96

**DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO**

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

13.4.1 Objetivo terapéutico .....	96
13.4.2 Fases del protocolo .....	96
13.4.2 Manual de las fases del protocolo.....	100
13.5 Manual de montaje .....	102
14. BIBLIOGRAFÍA .....	104

## ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Férula inmovilizadora rodilla. [2].....	11
Imagen 2. Férula dinámica codo. [3].....	11
Imagen 3. Férula inmovilizadora impresa en 3D. [4].....	12
Imagen 4. Exoesqueleto impreso en 3D de la extremidad superior. [5].....	13
Imagen 5. Ortesis dinámica de muñeca con resorte. [7].....	22
Imagen 6. Férula dinámica de miembro superior. [8] .....	23
Imagen 7. Sistema modular de mano. [9].....	24
Imagen 8. Férula dinámica de metal para mano. [10] .....	25
Imagen 9. Férula Oppenheimer para la flexión dorsal de la muñeca. [11].....	26
Imagen 10. 326 Air-soft stable. [12] .....	27
Imagen 11. Ortesis de muñeca para la corrección dinámica. [13].....	28
Imagen 12. Férula de bisagra flexora impulsada por la muñeca. [14].....	29
Imagen 13. Ortesis de muñeca Universidad de Washington. [15] .....	30
Imagen 14. Ángulos límite flexo-extensión de la muñeca. [16].....	31
Imagen 15. Ángulos límite aducción-abducción muñeca. [16].....	32
Imagen 16. Movimiento articulación dedo pulgar. [16].....	33
Imagen 17. Músculo Braquiorradial. [17] .....	33
Imagen 18. Imagen logotipo Kinovea.[18].....	35
Imagen 19. Valores parametrizables plano X-Z. [Fuente propia] .....	35
Imagen 20. Valores parametrizables Plano Y-Z. [Fuente propia].....	36
Imagen 21. Valores parametrizables plano X-Y. [Fuente propia].....	37
Imagen 22 Valores parametrizables plano Y-Z. [Fuente propia] .....	38
Imagen 23 Ubicación centro del eje de rotación muñeca. [Fuente propia] .....	41
Imagen 24. Observación de nudillos en el movimiento de flexión de los dedos. [Fuente propia].....	42
Imagen 25. Estudio curvatura músculo braquiorradial. [Fuente propia].....	43
Imagen 26. Demostración método toma de cargas de una mano en reposo. [Fuente propia].....	44
Imagen 27. Valor máximo recogido por el dinamómetro en movimiento dorsal. [Fuente propia].....	45
Imagen 28. Vista superior boceto 1. [Fuente propia] .....	50

# DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

## DOCUMENTO N°1. MEMORIA

Imagen 29. Vista posterior boceto 1 digital. [Fuente propia].....	51
Imagen 30. Boceto 2 digital. [Fuente propia].....	52
Imagen 31. Regulador ángulo articulación de la muñeca del Boceto 2. [Fuente propia]	52
Imagen 32. Boceto 3. [Fuente propia] .....	53
Imagen 33. Boceto final. [Fuente propia].....	53
Imagen 34. Parametrización contorno agarre mano. [Fuente propia] .....	55
Imagen 35. Parametrización anchura agarre mano. [Fuente propia].....	56
Imagen 36. Parametrización alineación soporte exoesqueleto. [Fuente propia] .....	57
Imagen 37. Parametrización contorno agarre antebrazo. [Fuente propia].....	58
Imagen 38. Ubicación punto pivote del eje de la muñeca. [Fuente propia] .....	59
Imagen 39. Medidas salientes que guían en su movimiento a la muñeca. [Fuente propia].....	59
Imagen 40. Ecuación “J”. [Fuente propia] .....	60
Imagen 41. Parametrización guía reguladora. [Fuente propia] .....	60
Imagen 42. Vista 1 prototipo virtual. [Fuente propia].....	61
Imagen 43. Vista 2 prototipo virtual. [Fuente propia].....	61
Imagen 44. Vista 3 prototipo virtual. [Fuente propia].....	62
Imagen 45. Mallado 3D de la ortesis. [Fuente propia] .....	63
Imagen 46. Esfuerzo -10 N sobre la férula en dirección Y. [Fuente propia].....	64
Imagen 47. Esfuerzo de 2,5 N sobre la férula en dirección X. [Fuente propia] .....	65
Imagen 48. Preparación piezas ortesis para impresión 3D. [Fuente propia] .....	66
Imagen 49. Preparación carcasa antebrazo para impresión 3D. [Fuente propia] .....	67
Imagen 50. Vista superior Prototipo 1. [Fuente propia] .....	68
Imagen 51. Vista hueco zona articulación del dedo pulgar. [Fuente propia] .....	68
Imagen 52. Vista lateral Prototipo 1. [Fuente propia] .....	69
Imagen 53. Imagen 1 prototipo final. [Fuente propia] .....	70
Imagen 54. Imagen 2 prototipo final. [Fuente propia] .....	70
Imagen 55. Imagotipo de la empresa de la ortesis. [Fuente propia] .....	76
Imagen 56. Colores corporativos ortesisalud. [Fuente propia].....	77
Imagen 57. Resina empleada para la impresión 3D. [21].....	78
Imagen 58. Plastazote perforado color carne.[23].....	80
Imagen 59. Propiedades velcro. [24] .....	81
Imagen 60. Velcro. [25].....	81



# DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

## DOCUMENTO N°1. MEMORIA

Imagen 61. Articulación condílea. [16] .....	82
Imagen 62. Ligamentos laterales articulación radiocarpiana. [16].....	83
Imagen 63. Ligamentos anterior y posterior articulación radiocarpiana. [16] .....	83
Imagen 64. Articulación mediocarpiana. [16] .....	84
Imagen 65. Articulaciones de la muñeca: Radiocarpiana (1) y Mediocarpiana (2). [16]	84
Imagen 66. Planos de la muñeca. [16].....	85
Imagen 67. Movimiento de flexo-extensión de la muñeca. [16].....	87
Imagen 68. Zonas de contacto de la mano con objetos en el agarre. [16].....	87
Imagen 69. Sentidos del ahuecamiento de la mano en el agarre. [16] .....	88
Imagen 70. Punto focal de la mano. [16].....	89
Imagen 71. Planos de referencia del cuerpo humano. [27] .....	91
Imagen 72. Toma medida anchura palmar correspondiente a la medida guía. [Fuente propia].....	92
Imagen 73. Esquema medidas a tomar sobre el plano sagital. [Fuente propia] .....	93
Imagen 74. Medidas plano frontal que definen el espesor del antebrazo. [Fuente propia] .....	94
Imagen 75. Medidas del plano frontal que definen el espesor de la mano. [Fuente propia].....	94
Imagen 76. Muñeca inmovilizada en 20°. [Elaboración propia] .....	97
Imagen 77. Muñeca en 5° de extensión. [Fuente propia] .....	98
Imagen 78. Muñeca en 5° de flexión. [Fuente propia] .....	98
Imagen 79. Muñeca en 50° de extensión. [Fuente propia] .....	99
Imagen 80. Muñeca en 50° de flexión. [Fuente propia] .....	100

## **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Medidas parametrizables definitivas en el plano sagital. [Fuente propia] .....	36
Tabla 2. Medidas parametrizables definitivas en el plano frontal. [Fuente propia] .....	37
Tabla 3. Medidas parametrizables plano sagital. [Fuente propia] .....	38
Tabla 4. Valores de la carga de una mano en reposo. [Fuente propia] .....	44
Tabla 5. Valores carga de en movimiento dorsal. [Fuente propia] .....	45
Tabla 6. Medidas plano sagital. [Fuente propia] .....	93
Tabla 7. Medidas plano frontal. [Fuente propia] .....	95

**DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO**

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Objeto**

El objetivo principal de este trabajo de fin de grado es el de diseñar una férula de muñeca dinámica imprimible en 3D, capaz de cubrir las necesidades del paciente en cada fase de los protocolos que conforman su rehabilitación y sirviendo a su vez de soporte para un exoesqueleto de dedo de la mano.

El enfoque de esta herramienta está orientado a la ayuda de manera complementaria a la rehabilitación de lesiones de tendones de la mano, ya que parte de este proceso de recuperación comprende la breve inmovilización y posterior movimiento gradual y controlado de la articulación de la muñeca. Así mismo, gracias a su versatilidad y funcionalidad y la libertad de movimiento de los dedos de la mano, podrá servir para otro tipo de lesiones tales como cerebrales, tenosinovitis, lesión en nervios etc.

Además de cumplir con las características técnicas necesarias para una correcta rehabilitación, ha de estar pensada para el conjunto de la población, buscando la mayor sencillez en el diseño para un fácil uso y mantenimiento de ella y teniendo un precio asequible para todos los bolsillos.

### **1.2 Estado del arte y justificación del proyecto**

En las últimas décadas se está desarrollando de manera ambiciosa un área interdisciplinaria denominada biomecánica definida según la Real Academia Española como el estudio de la aplicación de las leyes de la mecánica a la estructura y movimiento de los seres vivos denominada biomecánica. Se trata de una simbiosis entre mecánica y biología con el objetivo de solucionar problemas anatómicos y de movimiento que surgen en las distintas actividades de la vida cotidiana. La posibilidad de identificación de posibles alteraciones permite una temprana y adecuada corrección de estas.

## DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

### DOCUMENTO N°1. MEMORIA

A pesar del vertiginoso desarrollo de la tecnología en los últimos años que está permitiendo avances en este ámbito de la ciencia a pasos agigantados, hay que remontarse hasta la edad antigua, donde los griegos sentaron las bases del conocimiento de la mecánica y la medicina, realizando los primeros análisis biomecánicos del cuerpo humano.

El término ortesis deriva del griego “ortho” que significa poner recto o enderezar. Se trata de un dispositivo adaptado externamente a la parte del cuerpo interesada con el objetivo de modificar las características estructurales y funcionales de los sistemas neuromuscular y esquelético con la intención de mantener, mejorar y restaurar su función. A diferencia del resto de ayudas técnicas se encuentra en contacto permanente con el cuerpo humano y son usadas en el tratamiento de deficiencias físicas o discapacidad [1].

La palabra a la que nos referiremos y más empleada en la literatura de manera habitual es “férula”, que hace referencia a una ortesis de extremidad superior o inferior, univalva, y de uso temporal.

Debido a la cantidad de tipos de ortesis, existe un uso de acrónimos estandarizados asociados con la parte del cuerpo sobre la que actúa añadiendo una “O” (de Ortesis) al final. En este caso el acrónimo correspondiente a ortesis de muñeca-mano es WHO (Wrist-Hand Orthosis).

De manera general, las ortesis o férulas se pueden clasificar en:

- Férulas pasivas: consistente en férulas estáticas o inmovilizadoras, no articuladas y que permiten mantener el miembro en reposo. Su función es postural ya que previene, modera o evita deformidades.
- Férulas dinámicas o funcionales: consistente en férulas articuladas. Se suelen fabricar en dos piezas de termoplástico que permiten la regulación del rango de movimiento y son ajustadas con un sistema de velcros.

# DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA



*Imagen 1. Férula inmovilizadora rodilla. [2]*



*Imagen 2. Férula dinámica codo. [3]*

Realizando una búsqueda exhaustiva se denota una notable carencia evolutiva en cuanto a avances y técnicas empleadas en los procesos de rehabilitación activa centradas en la articulación de la muñeca o en aquellos procesos en los que forma un papel fundamental, como por ejemplo en la rehabilitación del movimiento de las manos.

## DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

El foco de atención se ha centrado en férulas inmovilizadoras impresas en 3D en sustitución a las escayolas de yeso, cumpliendo con la misma función, capacidad y resistencia, pero sin las incomodidades y limitaciones que acarrear.



*Imagen 3. Férula inmovilizadora impresa en 3D. [4]*

Es cierto que en los últimos años la rama de la ingeniería de la salud y de la biomecánica ha realizado grandes avances en cuanto a la recuperación de la movilidad de los dedos de la mano con ayuda de ortesis se refiere, en especial con respecto a exoesqueletos tanto mecánicos como automáticos. A pesar de ello, la gran mayoría no tienen en cuenta la estabilización o regulación del movimiento de la muñeca, siendo esto un factor imprescindible al depender de ella la posición palmar de la mano, la amplitud de las articulaciones interfalángicas y la fuerza que tiene que ejercer el paciente para el movimiento de los dedos.

## DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA



*Imagen 4. Exoesqueleto impreso en 3D de la extremidad superior. [5]*

En la Imagen 4 se aprecia claramente como la muñeca a pesar de ser una de las articulaciones más usadas e importantes para el desarrollo de la vida diaria, es por su complejidad una de las menos desarrolladas a nivel tecnológico en el ámbito de la biomecánica.

Es a partir de aquí donde se plantea en este documento el diseño de una férula dinámica de muñeca que cumpla con todas las expectativas en cuanto a funcionalidad, comodidad y economía, pero circunscrito dentro de unos límites realistas acorde con las capacidades de los individuos a los que está orientados su uso.



# DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

## 1.3 Alcance

En el diseño y desarrollo de la férula dinámica de muñeca se incluirán los siguientes puntos, que se desglosarán a lo largo del documento.

- Estudio del fundamento fisiopatológico de las ortesis. Conocimiento de la anatomía y función de la muñeca, aspectos biomecánicos e identificación del déficit funcional.
- Estudio del proceso de rehabilitación.
- Diseño mediante asistencia por ordenador.
- Selección de materiales.
- Análisis teórico de exigencias mecánicas.
- Fabricación física del prototipado mediante impresión 3D.
- Conclusiones
- Líneas de futuro.

## 2. NORMAS, RECOMENDACIONES Y REFERENCIAS

### 2.1 Normativa y recomendaciones aplicadas

#### 2.1.1 Normativa referente a la redacción del proyecto

- UNE 157001:2014, *Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico.*
- UNE-EN ISO 5455, *Dibujos técnicos. Escalas.*
- UNE 1027, *Dibujos técnicos. Plegado de planos.*
- UNE 1032, *Dibujos técnicos. Principios generales de representación.*
- UNE 1035, *Dibujos técnicos. Cuadros de rotulación.*
- UNE 1039, *Dibujos técnicos. Acotación. Principios generales, definiciones, métodos de ejecución e indicaciones especiales.*
- UNE 1135, *Dibujos técnicos. Lista de elementos.*

#### 2.1.2 Normativa referente al desarrollo del proyecto

- UNE-EN ISO 7250-1:2008, *Definiciones de las medidas básicas del cuerpo humano para el diseño tecnológico.*
- UNE-EN ISO 22523:2006, *Prótesis de miembros externos y ortesis externas. Requisitos y métodos de ensayo.*
- UNE-EN ISO 14001:2015 *Sistemas de gestión ambiental. Requisitos con orientación para su uso.*
- UNE-EN ISO 22523:2007 *Prótesis de miembros externos y ortesis externas. Requisitos y métodos de ensayo (ISO 22523:2006).*
- UNE 111912:1990 *Prótesis y órtesis. Aspectos médicos. Descripción de las malformaciones congénitas de miembros.*
- UNE-EN ISO 17664:2018 *Procesado de productos sanitarios. Información a suministrar por el fabricante del producto sanitario para el procesado de productos sanitarios.*

# DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

## DOCUMENTO N°1. MEMORIA

- UNE-EN ISO 14971:2012 Productos sanitarios. Aplicación de la gestión de riesgos a los productos sanitarios.
- UNE-EN ISO 13485:2018 Productos sanitarios. Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos para fines reglamentarios.
- Real Decreto 1591/2009 por el que se regulan los productos sanitarios.
- UNE-EN ISO/ASTM 52900:2017 Fabricación aditiva. Principios generales. Terminología (ISO/ASTM 52900:2015).
- • ASTM F2971:2013 Práctica estándar para reportar datos para probetas preparadas por fabricación aditiva.

## **2.2 Referencias a programas utilizados**

- Microsoft Word: procesamiento de texto (licencia UMA).
- Microsoft PowerPoint: presentación de diapositivas (licencia UMA).
- Microsoft Excel: hojas de cálculo (licencia UMA).
- AutoCAD: creación de planos (licencia UMA).
- SolidWorks: creación de planos y modelado 3D (licencia UMA).
- Kinovea: estudio ergonómico (*freeware*).
- Adobe Illustrator: edición (licencia UMA).

### **3. METODOLOGÍA**

Antes de hablar sobre metodología, es importante explicar el contexto del proyecto: se trata de un proyecto cuyo diseño se realiza desde cero, es decir, no se trata de una mejora de un producto ni proceso de fabricación de este. Bien es cierto que ha habido una constante evolución del mismo conforme se rediseñaba implementando mejoras y se construía.

La metodología aplicada se trata de una metodología orientada al *Diseño para Fabricación y Ensamblaje* (DFMA). Se trata de un conjunto de principios que pretenden asegurar una fabricación menos compleja a través de la simplificación de todas las operaciones que constituyen el producto para garantizar su fabricación y/o ensamblaje.

Los principios fundamentales que establece el DFMA son:

- Minimizar la complejidad: ensamblaje de manera directa y sin errores.
- Minimizar el número de piezas, con el máximo número de estas estandarizadas, multifuncionales, etc.
- Maximizar la compatibilidad entre el proceso de fabricación de piezas y subconjuntos aplicando la tecnología al alcance.
- Diseñar tolerancias de acuerdo con las capacidades del proceso.

En cuanto a las dimensiones a considerar en las distintas etapas de su diseño se ha establecido:

- Las piezas serán fabricadas y no subcontratadas.
- Eliminar el uso de tornillos y/o elementos no imprimibles en su ensamblaje.
- Eliminar el uso de herramientas.

## DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

### DOCUMENTO N°1. MEMORIA

El diseño surge gracias a un *brainstorming* que ha permitido un flujo libre de ideas las cuales se han implementado con distintas propuestas en forma de bocetos. Tras un previo estudio de mercado, costes y documentación con expertos en el sector de la medicina, se comienza a diseñar el producto utilizando métodos informáticos aplicados al diseño: CAD, CAM y CAE. Finalmente se obtiene un diseño sin elementos de ensamblaje que no sean imprimibles en 3D tales como tornillos o remaches; se consigue un diseño sin necesidad alguna de herramientas para su uso y/o montaje y su ensamblaje y diseño es de gran simplicidad, estando al alcance de todo individuo.

Es importante mencionar que, en algunas fases del proyecto a pesar de la información recogida, no ha sido posible avanzar por la falta de conocimiento acerca de protocolos de rehabilitación por lo que se ha tenido que paralizar parte del proceso y colaborar con fisioterapeutas para el desarrollo de la regulación del rango de movimiento de la articulación de la muñeca en cada fase de la rehabilitación.

Esta forma de trabajo simultánea entre conocimientos, experiencia y recursos podría relacionarse en cierto grado con la metodología de *Ingeniería Concurrente (IC)*. Al combinar ambos campos, el de la medicina y los métodos informáticos de diseño se ha ahorrado tiempo y se ha invertido esfuerzo en una mejora del diseño con el objetivo tanto de mejora de calidad como de reducción de costes.

## 4. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

### Abreviaturas

- CAD: Computer-Aided Design, ‘Diseño Asistido por Ordenador’.
- CAM: Computer-Aided Manufacturing, ‘Fabricación Asistida por Ordenador’.
- CAE: Computer-Aided Engineering, Ingeniería Asistida por Ordenador’.
- DFMA: Diseño para Fabricación y Ensamblaje.
- IC: Ingeniería Concurrente.
- LCD: Liquid Crystal Display, ‘Pantalla de cristal líquido’.
- WHO: Wrist-Hand Orthosis, ‘Ortesis de mano y muñeca’.
- UMA: Universidad de Málaga.

### Unidades

- g: gramos
- kg: kilogramo
- °: grados
- °C: grados centígrados
- mm: milímetros
- cm: centímetros
- m: metros
- T<sub>g</sub>: temperatura vítrea
- MPa: Megapascals
- cps: centipoise
- kJ: kilojulio
- l: litro

### Definiciones

- [...]: referencia a una cita bibliográfica.
- *Freeware*: software que se distribuye sin pago por licencia.
- *Brainstorming*: lluvia de ideas.

## 5. ANTECEDENTES

### 5.1 Estudio de mercado

Tras el estudio de mercado realizado, se observa una fuerte presencia de férulas inmovilizadoras de muñeca, así como gran evolución de estas a lo largo de los últimos años en lo que a materiales y precio se refiere. Su continuo desarrollo e innovación es lo que ha permitido la posibilidad de personalización de las férulas asegurando la comodidad del paciente mediante materiales ligeros (gracias a la impresión 3D, por ejemplo) y disminuyendo el número de materiales presentes para su reutilización, cualidades buscadas en el desarrollo de la órtesis de este proyecto.

En cambio, esta búsqueda ha revelado la notable carencia de modelos disponibles al alcance de la población en lo que a férulas dinámicas de muñeca se refiere. Este modelo de férulas articuladas permite una rehabilitación más funcional y completa de la muñeca cubriendo un mayor número de necesidades. A pesar de su importancia, tal y como se observará a continuación, se tratan de diseños demasiado voluminosos, difíciles de usar sin la ayuda de un profesional y con precios bastante elevados debido a los materiales que lo componen.

A continuación, se detallarán los criterios tomados para la clasificación según las características seleccionadas para el estudio de mercado de una muestra de distintas ortesis:

- **Movimiento regulable:** la ortesis permite tanto la inmovilización de la muñeca como el control regulado del movimiento en distintas fases angulares.
- **Robusto:** por la composición de materiales y diseño, se observa que la ortesis es resistente.
- **Sencillo:** el número de elementos que lo componen son pocos y por consiguiente su uso es intuitivo para el paciente.
- **Económico:** se considerará económica aquella ortesis cuyo precio esté por debajo de los 180 euros.

## DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

### DOCUMENTO N°1. MEMORIA

- **Atractivo:** las líneas, elementos y colores del diseño son visualmente agradables al usuario.
- **Necesidad de ayuda profesional:** para un correcto uso no intuitivo de la ortesis durante la rehabilitación.
- **Limpio:** la composición de la ortesis y el material del que está fabricado no suponen ningún impedimento para una cómoda limpieza de la ortesis.

Las férulas de rehabilitación de muñeca disponibles en el mercado se pueden agrupar según su función y características en los siguientes tipos [6]:

- Férulas de inmovilización: pudiendo ser a su vez de tipo dorsal, palmar o intrínseco plus. Esta última restringe además el movimiento de las articulaciones interfalángicas.
- Férulas funcionales: permite un movimiento controlado y regulado de tipo dorsal y/o palmar para una rehabilitación activa. Pueden restringir o no según el diseño el movimiento de las articulaciones interfalángicas al igual que las de inmovilización.



# DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

Producto: **ÓRTESIS DINÁMICA DE MUÑECA CON RESORTE**

Fabricante: **CDS®**



*Imagen 5. Ortesis dinámica de muñeca con resorte. [7]*

**Movimiento regulable:** sí.

**Personalizable:** no.

**Robusto:** sí.

**Sencillo:** no, posee un gran número de elementos poco intuitivos para el paciente.

**Ergonómico:** sí.

**Cómodo:** sí.

**Ligero:** no debido a la cantidad de elementos metálicos.

**Económico:** no.

**Movilidad dedos:** no.

**Atractivo:** no.

**Ecodiseño:** no, combina gran número de materiales.

**Necesidad de herramientas:** sí ya que la sujeción se basa en tornillería y remaches.

**Fácil montaje:** no, necesita de un especialista con conocimientos.

**Necesidad ayuda profesional:** no.

**Modular:** no.

**Peso equilibrado:** no, todos los elementos metálicos se encuentran en el mismo lado.

**Resistente a la intemperie:** si, larga duración.

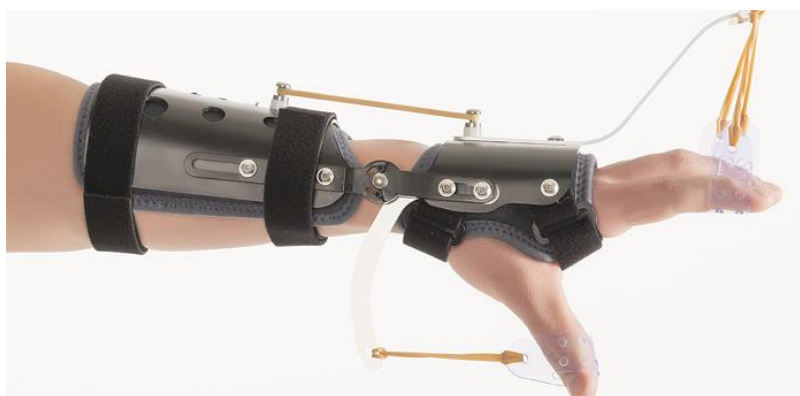
**Limpio:** no, al no poder hacer división de materiales, la espuma no puede ser lavada por separado.

# DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

Producto: **FÉRULA DINÁMICA DE MIEMBRO SUPERIOR**

Fabricante: **SANICOR**



*Imagen 6. Férula dinámica de miembro superior. [8]*

**Movimiento regulable:** sí.

**Personalizable:** no, disponible en tallas S, M y L.

**Robusto:** sí.

**Sencillo:** sí.

**Ergonómico:** no, el punto de pivote de la muñeca no corresponde con el centro de eje de los herrajes.

**Cómodo:** sí.

**Ligero:** no debido a la cantidad de elementos metálicos.

**Económico:** no

**Movilidad dedos:** sí.

**Atractivo:** sí.

**Ecodiseño:** no, combina un gran número de materiales.

**Necesidad de herramientas:** sí ya que la sujeción se basa en tornillería.

**Fácil montaje:** no, se necesita un especialista con conocimientos.

**Necesidad ayuda profesional:** sí

**Modular:** sí.

**Peso equilibrado:** sí, en esta propuesta los herrajes se encuentran a ambos lados y son muy finos.

**Resistente a la intemperie:** si, larga duración.

**Limpio:** no, al no poder hacer división de materiales, el neopreno no puede ser lavado por separado.

## DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

Producto: **SISTEMA MODULAR DE MANO**

Fabricante: **EMO**



*Imagen 7. Sistema modular de mano. [9]*

**Movimiento regulable:** sí.

**Personalizable:** únicamente la base palmar y del antebrazo.

**Robusto:** sí.

**Sencillo:** no, posee un gran número de elementos poco intuitivos de montar para el paciente.

**Ergonómico:** sí.

**Cómodo:** no, no contiene acolchamiento por lo que el termoplástico se encuentra en contacto directo con la piel. Además, al rodear por completo los miembros y no ser regulado el agarre con cinchas provoca holgura que puede afectar al proceso de rehabilitación.

**Ligero:** no, debido a la cantidad de elementos metálicos.

**Económico:** no.

**Movilidad dedos:** sí.

**Atractivo:** no.

**Ecodiseño:** no, combina termoplástico con elementos metálicos.

**Necesidad de herramientas:** sí ya que la sujeción se basa en tornillería.

**Fácil montaje:** no, necesita de un especialista con conocimientos.

**Necesidad ayuda profesional:** no.

**Modular:** no

**Peso equilibrado:** sí.

**Resistente a la intemperie:** sí, larga duración.

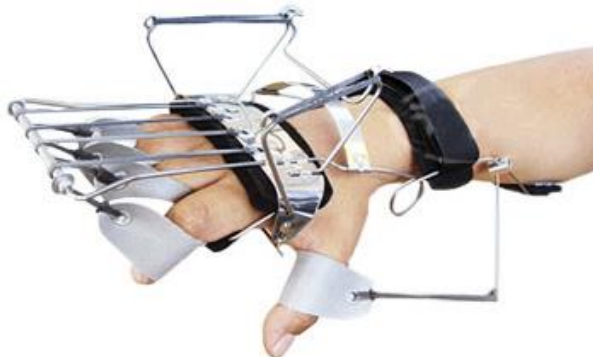
**Limpio:** sí, puede introducirse en la lavadora dentro de una bolsa especial para su limpieza.

## DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

Producto: **FÉRULA DINÁMICA DE METAL PARA MANO**

Fabricante: **TRAUMAFISIC**



*Imagen 8. Férula dinámica de metal para mano. [10]*

**Movimiento regulable:** no.

**Personalizable:** no, pero disponible en tallas S, M, L.

**Robusto:** no.

**Sencillo:** no, posee un gran número de elementos poco intuitivos de montar para el paciente.

**Ergonómico:** no.

**Cómodo:** no, a pesar de tener zonas acolchadas la cantidad de resortes y elementos hace tedioso su uso.

**Ligero:** sí.

**Económico:** no.

**Movilidad dedos:** reducida.

**Atractivo:** no.

**Ecodiseño:** no, combina metal con velcro y tela.

**Necesidad de herramientas:** no.

**Fácil montaje:** no, necesita de un especialista con conocimientos.

**Necesidad ayuda profesional:** sí.

**Modular:** no, a pesar de estar dividido en 3 partes, hay piezas ensambladas.

**Peso equilibrado:** sí.

**Resistente a la intemperie:** no.

**Limpio:** no, ya que no hay posibilidad de separar el velcro de las partes metálicas.

## DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

Producto: **FÉRULA OPPENHEIMER PARA LA FLEXIÓN DORSAL DE LA MUÑECA**

Fabricante: **DESCONOCIDO**



*Imagen 9. Férula Oppenheimer para la flexión dorsal de la muñeca. [11]*

**Movimiento regulable:** no, ni siquiera es articulada.

**Personalizable:** no, pero está disponible en tallas S, M, L.

**Robusto:** no.

**Sencillo:** sí.

**Ergonómico:** sí.

**Cómodo:** no, apenas tiene sujeción y estabilidad.

**Ligero:** sí.

**Económico:** sí.

**Movilidad dedos:** sí.

**Atractivo:** no, tiene una apariencia muy endeble.

**Material:** metal y foam.

**Ecodiseño:** no.

**Necesidad de herramientas:** no, lo conforma una única pieza.

**Fácil montaje:** sí.

**Necesidad ayuda profesional:** no.

**Modular:** no.

**Peso equilibrado:** sí.

**Resistente a la intemperie:** no, el metal tendrá tendencia a oxidarse fácilmente.

**Limpio:** sí.

## DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

Producto: **326 AIR-SOFT STABLE**

Fabricante: **THUASNE**



*Imagen 10. 326 Air-soft stable. [12]*

**Movimiento regulable:** no, ni siquiera es articulada.

**Personalizable:** no, pero está disponible en tallas S, M, L y XL.

**Robusto:** no.

**Sencillo:** sí.

**Ergonómico:** sí.

**Cómodo:** no, ya que al estar abrazando los miembros mediante correas en su totalidad esto provoca una presión excesiva pudiendo llegar a provocar inflamación y molestias en el paciente.

**Ligero:** sí.

**Económico:** sí.

**Movilidad dedos:** no.

**Atractivo:** sí.

**Material:** espuma y velcro.

**Ecodiseño:** no.

**Necesidad de herramientas:** no.

**Fácil montaje:** sí.

**Necesidad ayuda profesional:** no.

**Modular:** no.

**Peso equilibrado:** sí.

**Resistente a la intemperie:** no, el material al mojarse puede sufrir graves desmejoras.

**Limpio:** no debido a que el material tiende a acumular mucha suciedad, aunque según el fabricante puede introducirse en la lavadora dentro de una bolsa especial para su limpieza.

## DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

Producto: **ORTESIS DE MUÑECA PARA LA CORRECCIÓN DINÁMICA**

Fabricante: **CDS®**



*Imagen 11. Ortesis de muñeca para la corrección dinámica. [13]*

**Movimiento regulable:** sí, intervalos de corrección en etapas de 15°.

**Personalizable:** no, pero regulable en un rango de longitud.

**Robusto:** sí.

**Sencillo:** no.

**Ergonómico:** sí.

**Cómodo:** sí, contiene recubrimiento en todas las zonas que pudieran estar en contacto con los elementos cortantes.

**Ligero:** no.

**Económico:** no.

**Movilidad dedos:** no.

**Atractivo:** no, aunque el estampado infantil suaviza el impacto visual para los niños.

**Material:** termoplástico, metal, espuma y velcro.

**Ecodiseño:** no, combina termoplástico con elementos metálicos.

**Necesidad de herramientas:** sí ya que la sujeción se basa en tornillería y remaches.

**Fácil montaje:** sí para el paciente ya que los elementos se proveen ya montados, pero no en su proceso de fabricación.

**Necesidad ayuda profesional:** no.

**Modular:** no.

**Peso equilibrado:** no, ya que todos los elementos metálicos se encuentran en el mismo lateral.

**Resistente a la intemperie:** no.

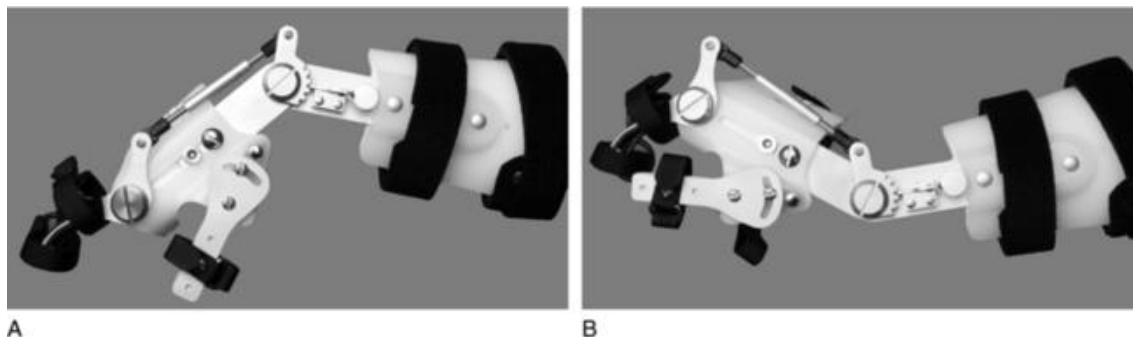
**Limpio:** no, al carecer de la posibilidad de desmontaje del paciente los elementos de espuma no pueden ser lavados por separado.

## DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

Producto: **FÉRULA DE BISAGRA FLEXORA IMPULSADA POR LA MUÑECA**

Fabricante: **DESCONOCIDO**



*Imagen 12. Férula de bisagra flexora impulsada por la muñeca. [14]*

**Movimiento regulable:** sí, con intervalos de corrección.

**Personalizable:** no.

**Robusto:** sí.

**Sencillo:** no.

**Ergonómico:** sí.

**Cómodo:** no, los elementos cortantes no se encuentran protegidos y todo el material se encuentra en contacto directo con la piel sin acolchamiento ninguno.

**Ligero:** no.

**Económico:** no.

**Movilidad dedos:** no.

**Atractivo:** no, tiene un diseño que impacta de manera negativa al usuario.

**Material:** termoplástico, metal, y velcro.

**Ecodiseño:** no, combina termoplástico con elementos metálicos.

**Necesidad de herramientas:** sí ya que la sujeción se basa en tornillería y remaches.

**Fácil montaje:** no.

**Necesidad ayuda profesional:** no.

**Modular:** no.

**Peso equilibrado:** no, ya que todos los elementos metálicos se encuentran en el mismo lateral.

**Resistente a la intemperie:** no.

**Limpio:** sí.

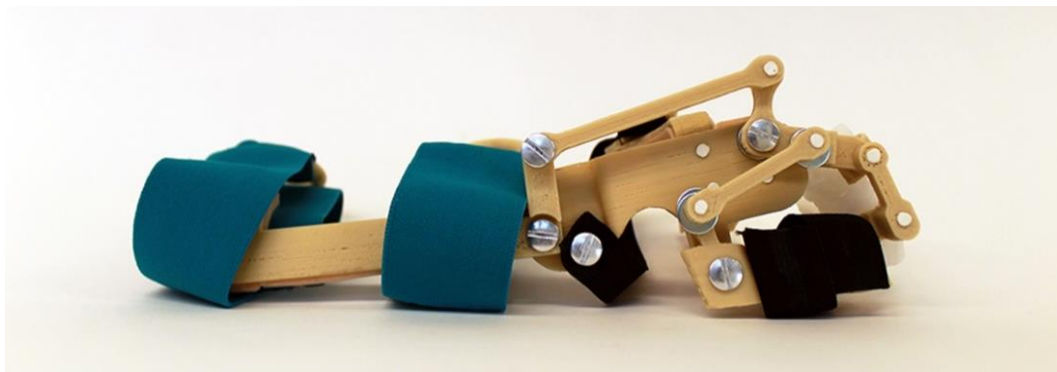


## DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

Producto: **ORTESIS DE MUÑECA**

Fabricante: **UNIVERSIDAD DE WASHINGTON**



*Imagen 13. Ortesis de muñeca Universidad de Washington. [15]*

**Movimiento regulable:** no.

**Personalizable:** parcialmente.

**Robusto:** sí.

**Sencillo:** no.

**Ergonómico:** sí.

**Cómodo:** no, ya que tiene salientes punzantes sin redondear ni proteger y carece de acolchamiento, por lo que el material rígido se encuentra en contacto directo con la mano.

**Ligero:** sí.

**Económico:** sí.

**Movilidad dedos:** sí.

**Atractivo:** sí.

**Material:** ABS, metal y velcro.

**Ecodiseño:** no.

**Necesidad de herramientas:** sí ya que la sujeción se basa en tornillería y remaches.

**Fácil montaje:** no.

**Necesidad ayuda profesional:** sí.

**Modular:** no.

**Peso equilibrado:** sí, ya que al ser impreso en 3D el material es muy ligero y el desequilibrio inapreciable.

**Resistente a la intemperie:** sí.

**Limpio:** sí.

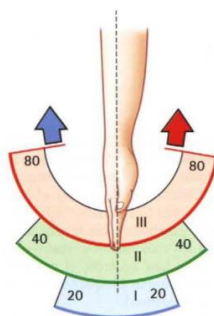
## **5.2 Síntesis de aplicaciones médicas**

Previo al estudio ergonómico, se examinan las características anatómicas y cinemáticas de la muñeca, mano y antebrazo recopilados en el Anexo 13.2 de este documento para el análisis de sus límites y cualidades aplicables en el diseño de la órtesis de este proyecto.

### **5.2.1 La muñeca**

Los principales movimientos de la articulación de la muñeca que se estudian para su control y regulación durante la rehabilitación son:

- Movimiento de flexo-extensión (palmar), N. Kuhlmann distingue tres sectores:
  - Sector de adaptación permanente **I**: Desplazamientos hasta los 20°, amplitud más habitual y urgente de restauración tras lesiones o intervenciones quirúrgicas.
  - Sector de movilidad usual **II**: Desplazamientos de hasta 40°, punto en el que los ligamentos comienzan a trabajar de manera notable.
  - Sector de alteración fisiológica momentánea **III**: Desplazamiento de fin de recorrido máximo de hasta 80°.



*Imagen 14. Ángulos límite flexo-extensión de la muñeca. [16]*

# DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

- Movimiento aducción-abducción (dorsal):
  - Abducción: amplitud de  $15^\circ$  medido en el eje del tercer metacarpiano (imagen izquierda de Imagen 15).
  - Aducción: amplitud de  $30^\circ - 45^\circ$ .

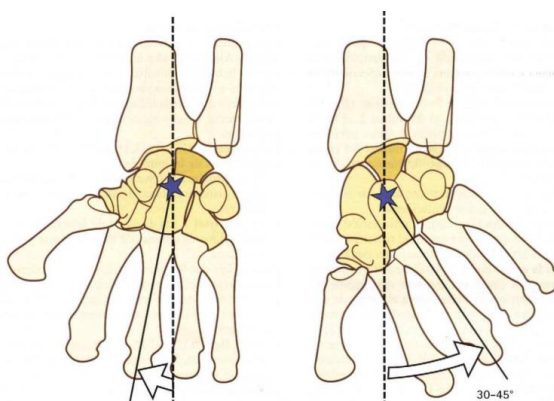


Imagen 15. Ángulos límite aducción-abducción muñeca. [16]

En todas las situaciones citadas, la amplitud del movimiento dependerá de la posición de la mano. Si se encuentran en flexión forzada o extensión será mínimo mientras que en posiciones de relajación será máxima ya que los ligamentos se distienden.

Se debe tener en cuenta que cuando el paciente haga uso de la férula durante la rehabilitación de tendones flexores de los dedos de la mano, que estos se encuentran estrechamente conectados con la muñeca en el movimiento de flexo-extensión. En este caso se trabajará sobre el plano transversal en una regulación progresiva y continua de la amplitud objetivo dentro del sector II.

## 5.2.2 La mano

Debido a que la férula a desarrollar se encuentra principalmente enfocada a su al movimiento de la muñeca, no es de especial relevancia un extenso estudio sobre la mano.

# DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

Sin embargo, a la hora de diseñarlo es importante la observación del movimiento del dedo pulgar cuando está afectado por una lesión. En este caso, se debe garantizar libertad completa de movimiento para evitar incomodidad y roces con la férula en la zona de la ante-palma.

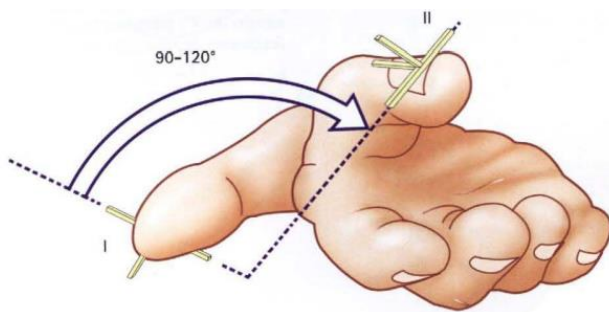


Imagen 16. Movimiento articulación dedo pulgar. [16]

## 5.2.3 El Antebrazo

Análisis de la musculatura perteneciente al antebrazo para adaptar el agarre ya que está compuesto por grandes músculos propensos a desarrollarse de manera notable al ejercitarlos.

Principalmente se observará el músculo braquiorradial (marcado en rojo en la Imagen 17) teniendo en cuenta la distancia a la que se encuentra del eje de la muñeca. En función de la longitud del agarre, se determinará si es necesario considerarlo en el estudio ergonómico del paciente o no, ya que la musculatura de cada paciente es completamente aleatoria.

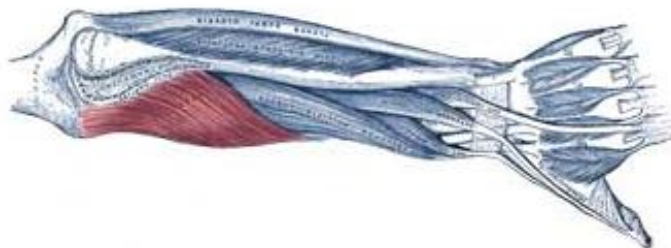


Imagen 17. Músculo Braquiorradial. [17]

### **5.3 Síntesis de la recopilación de datos**

Siendo uno de los principales objetivos el desarrollo de un diseño personalizado para el paciente sin necesidad de disponer de un escáner 3D sino tan sólo utensilios a su alcance tales como una regla o metro y un móvil para realizar fotos y vídeos, se procedió a tomar medidas con estas condiciones a un número de personas en edad laborable de ambos sexos. Con esta toma de medidas se pretende en primer lugar, observar si existe algún tipo de relación entre la estatura, peso y sexo de las personas con respecto las medidas de su brazo y mano y posteriormente, en su defecto, determinar si hubiera la posibilidad de encontrar relaciones geométricas comunes a todos ellos para facilitar al máximo la parametrización del diseño de la ortesis para un paciente y otro.

#### **5.3.1 Software empleado**

La calibración y determinación de todas las medidas a lo largo del proyecto se ha realizado con la ayuda de un software denominado Kinovea. Este software, muy empleado en biomecánica, se organiza en torno a cuatro misiones principales relacionadas con el estudio del movimiento humano:

- **Captura:** capacidad de grabación simultánea gracias a la posibilidad de sincronización del software con más de una cámara al mismo tiempo.
- **Observación:** regulación velocidad, rotación, zoom, superposición de vídeos y sincronización entre otros.
- **Anotación:** creación de notas, símbolos e incluso importación de imágenes externas a vídeos.
- **Medición:** tanto del tiempo como distancias y ángulos mediante herramientas tales como un cronómetro y goniómetro que pueden seguir en tiempo real la trayectoria de

## DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

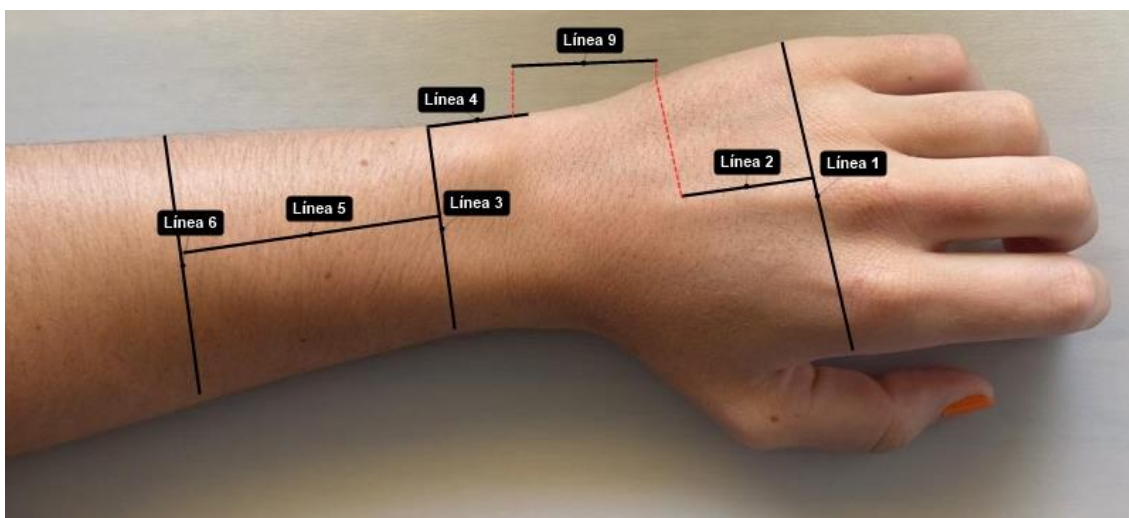
un punto deseado (normalmente una parte del cuerpo como la muñeca en este caso). Adición de sistema de coordenadas y cuadrículas de calibración.



*Imagen 18. Imagen logotipo Kinovea.[18]*

### 5.3.2 Selección de datos

Una vez recopiladas todas las medidas recogidas en el Anexo 13.3 se procede a realizar un análisis de estas. Al observar que no existe una relación directa entre altura, sexo y peso, se seleccionan aquellos datos que más difieren entre sí y que son básicos para poder realizar un diseño personalizado.



*Imagen 19. Valores parametrizables plano X-Z. [Fuente propia]*

Tal y como se observa, aparece la necesidad de inclusión de la medida correspondiente a la *Línea 9* para parametrizar la distancia entre el punto pivote de la muñeca y el punto unión de la pieza que guía la muñeca con el agarre de la mano.

# DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

## DOCUMENTO N°1. MEMORIA

Ejemplo del nuevo grupo de medidas representativo de entre el total de individuos:

Individuo n°	Altura (cm)	Peso (kg)	Edad	Sexo	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	L4 (mm)	L5 (mm)	L6 (mm)	L9 (mm)
1	174	76	24	F	81	42,70	53,92	26,70	71,58	65,83	39,50
2	179	85	63	M	90	50,00	62,00	27,40	84,53	69,88	41,20
5	170	69	54	F	83	51,00	59,24	26,80	79,78	63,4	39,40
6	177	80	57	M	88	46,90	57,33	27,30	80,59	75,79	40,60
7	166	67	23	F	82	47,30	48,52	26,00	71,07	63,74	39,80
15	168	69	29	F	79	43,48	51,00	26,20	71,01	55,44	38,80
19	170	66	26	F	83	57,16	48,67	26,70	71,42	57,01	39,20
21	165	68	28	M	75	55,00	59,06	25,50	71,48	65,77	38,40
24	191	65	40	M	83	52,82	45,48	26,90	73,40	86,24	40,30
22	201	91	33	M	86	45,18	55,40	27,30	81,20	61,04	41,30

Tabla 1. Medidas parametrizables definitivas en el plano sagital. [Fuente propia]

El resto de las medidas correspondientes al plano frontal se mantienen, incluyendo la *Línea 13* correspondiente a la altura del punto pivote de la muñeca.

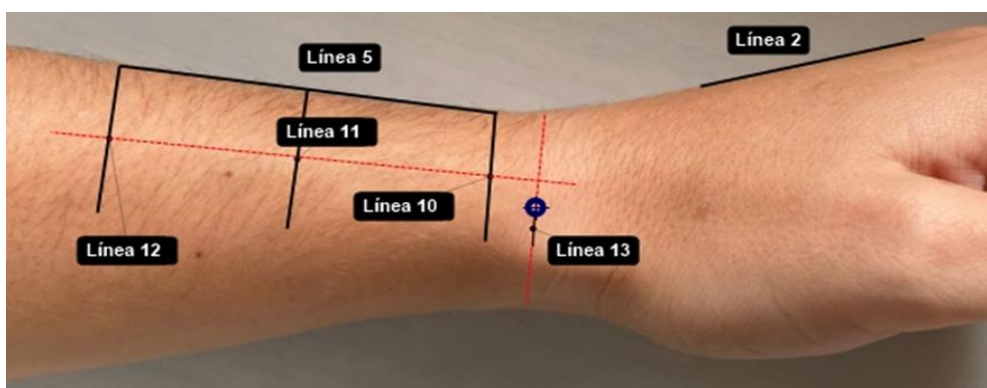


Imagen 20. Valores parametrizables Plano Y-Z. [Fuente propia]

Con motivo de la inclusión de este valor, es preciso renombrar el resto de “Líneas”.

# DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

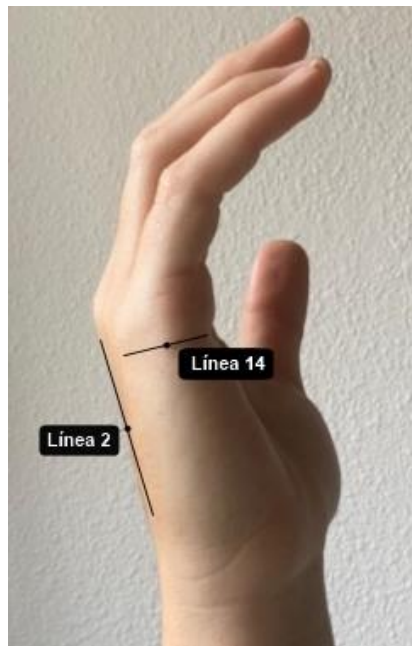


Imagen 21. Valores parametrizables plano X-Y. [Fuente propia]

Las medidas del plano frontal definitivas son las correspondientes a la siguiente tabla:

Individuo n°	Altura (cm)	Peso (kg)	Edad	Sexo	L10 (mm)	L11 (mm)	L12 (mm)	L13 (mm)	L14 (mm)
1	174	76	24	F	26	28	30	7	28
2	179	85	63	M	28	30	32	9	32
5	170	69	54	F	26	28	30	7	26
6	177	80	57	M	29	31	33	10	35
7	166	67	23	F	25	27	29	6	27
15	168	69	29	F	26	28	30	6	25
19	170	66	26	F	26	28	30	6	29
21	165	68	28	M	25	27	29	6	31
24	191	65	40	M	24	26	28	6	25
22	201	91	33	M	28	30	32	9	29

Tabla 2. Medidas parametrizables definitivas en el plano frontal. [Fuente propia]



## DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOSQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

### DOCUMENTO N°1. MEMORIA

Para finalizar, se recogen los datos necesarios para la disposición del soporte del exoesqueleto sobre el agarre de la mano. Los dedos deben encontrarse en situación de reposo.

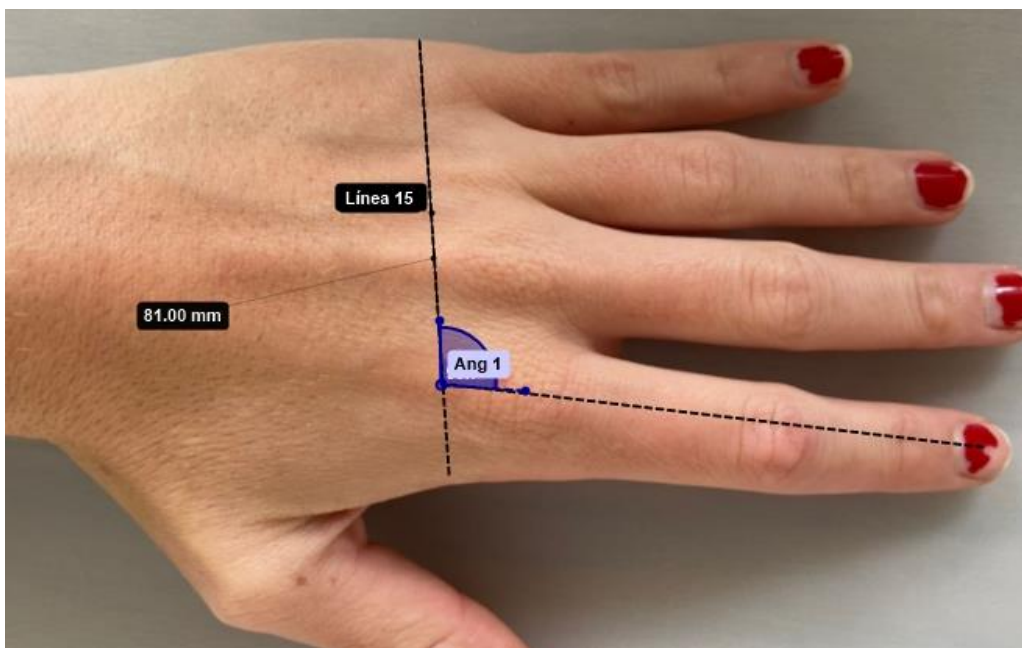


Imagen 22 Valores parametrizables plano Y-Z. [Fuente propia]

Muestra de toma de estas medidas:

Individuo n°	Altura (cm)	Peso (kg)	Edad	Sexo	L15 (mm)	Ang 1 (°)
1	174	76	24	F	67	97
2	179	85	63	M	70	98
5	170	69	54	F	68	96
6	177	80	57	M	72	97
7	166	67	23	F	64	95
15	168	69	29	F	66	97
19	170	66	26	F	66	98
21	165	68	28	M	66	97
24	191	65	40	M	70	96
22	201	91	33	M	71	97

Tabla 3. Medidas parametrizables plano sagital. [Fuente propia]

## **5.4 Directrices estudio ergonómico**

Para el correcto diseño ergonómico de la férula, el proyecto se ha centrado en el estudio de la ergonomía biomecánica, un área de la ergonomía que se dedica al estudio del cuerpo humano desde el punto de vista de la mecánica clásica y la biología, pero que también se basa en el conjunto de conocimientos de la medicina del trabajo, la fisiología, la antropometría y la antropología.

El objetivo principal es el estudio del cuerpo humano para, mediante el análisis de del funcionamiento y limitaciones mecánicas de las diferentes estructuras del cuerpo, ser capaz de obtener un rendimiento máximo.

En este proyecto se diseña una ortesis que cumple un conjunto de tareas y actividades que el paciente puede realizar sin riesgo de sufrir daños o lesiones. Para la obtención de las premisas planteadas, previo al diseño se deben realizar una serie de análisis sobre las extremidades involucradas, siendo en este caso tanto el movimiento como la capacidad de carga de estas.

### **5.4.1 Análisis de movimiento**

Se empleará un método de análisis a partir de movimientos repetitivos observados gracias al software *Kinovea*. Esto permite valorar de forma sencilla y mediante la técnica de observación directa el movimiento natural involucrado en el proceso de rehabilitación en la parte distal de las extremidades superiores, es decir, la mano y la muñeca [19].

Permitirá entre otros:

- Evaluar la tensión muscular.
- Evaluar la armonía postural y cinética.
- Valorar la actividad muscular.

## **DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO**

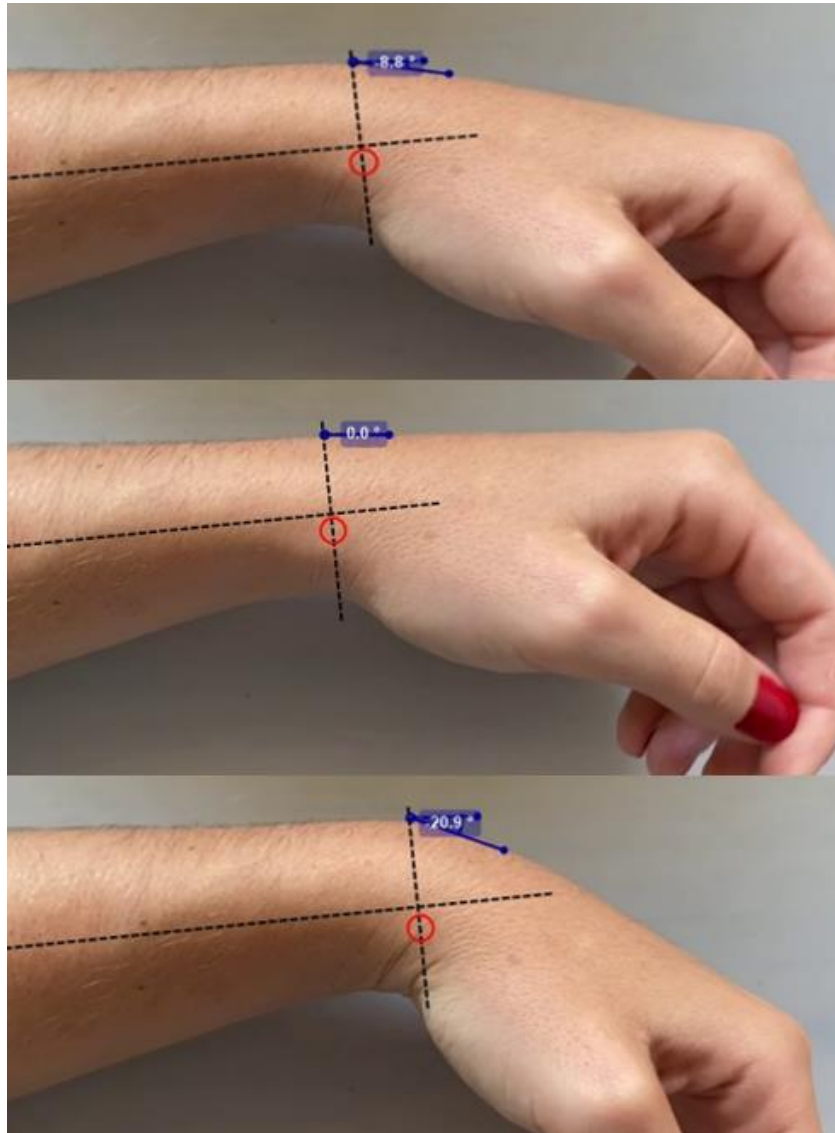
### DOCUMENTO N°1. MEMORIA

- Observar la posible existencia de una actividad motriz brusca.
- Evaluar el margen de maniobra motriz.
- Seleccionar las posturas a evaluar.

En primer lugar, se realiza un estudio del movimiento palmar de la muñeca para calcular el centro de su eje. Este punto es importante ya que sobre él pivotará el eje del sistema de giro de la férula a diseñar en cuestión permitiendo el movimiento natural de la mano del paciente para no causarle ningún tipo de esfuerzo innecesario durante su rehabilitación.

## DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA



*Imagen 23 Ubicación centro del eje de rotación muñeca. [Fuente propia]*

Mediante la repetición en bucle del movimiento de flexo-extensión con la ayuda de Kinovea se determina que el centro se encuentra desplazado del eje, punto que se tendrá en cuenta más adelante en la posición de los sistemas.

Con este movimiento se generan pliegues sobre la piel en la zona de la articulación de la muñeca. Este hecho sumado a la pronunciación del hueso escafoides determina la

## DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

### DOCUMENTO N°1. MEMORIA

necesidad de dejar hueca la zona a su alrededor en el diseño de la pieza de agarre al antebrazo de la férula para evitar roces y molestias.

Además de la flexo-extensión de la muñeca es importante tener en cuenta este movimiento en los dedos de a mano ya que en el momento de flexión los huesos de los nudillos sobresalen de forma prominente y un exceso de material en esa zona llegaría tanto a entorpecer las fases del protocolo como generar incomodidad en el paciente.



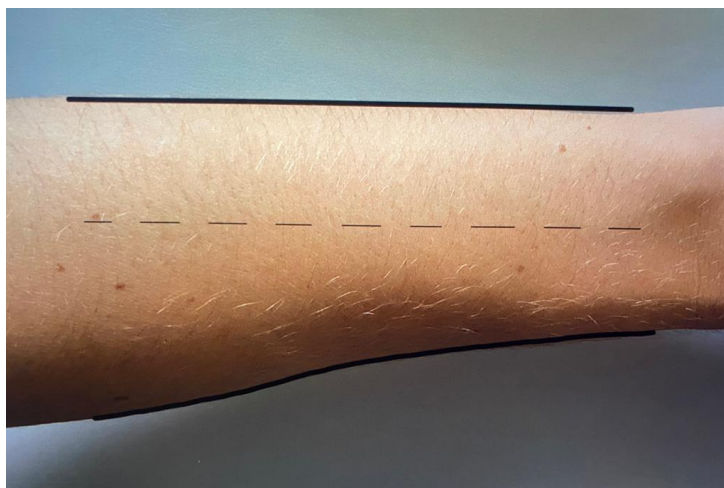
*Imagen 24. Observación de nudillos en el movimiento de flexión de los dedos. [Fuente propia]*

Es importante también estudiar el ángulo de los últimos cuatro dedos con respecto a la línea de nudillos para evitar generar tensiones adicionales que deriven a lesiones de otro tipo o entorpezcan la rehabilitación en cuestión.

Por último, se estudia si es necesario en función de las características del individuo si es relevante o no la prominencia del músculo braquiorradial para ajustar la forma del agarre del antebrazo y evitar generar presiones excesivas que puedan ocasionar algún tipo de problema de circulación.

# DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA



*Imagen 25. Estudio curvatura músculo braquiorradial. [Fuente propia]*

## 5.4.2 Análisis de carga

Para un correcto análisis estructural de la férula diseñada en este proyecto, se estudia la carga que ejerce una mano en el estado de reposo (se apoyará el codo sobre una superficie plana y se dejará caer la mano manteniendo el dinamómetro en posición vertical siempre a la misma altura), considerando este valor el mínimo a soportar por la férula. Dicho análisis se encuentra recogido en el apartado de “Análisis experimental del prototipo” en detalle.

Con la ayuda de un dinamómetro y una cuerda, se han tomado 3 medidas de varios individuos de distintas edades y sexo recogiendo los resultados en la tabla que se muestra a continuación. Al medir el dinamómetro los valores en kg se pasarán a N ya que es la unidad empleada en el software al realizar el análisis.

$$F = m * a, \text{ por lo que: } N = \text{kg} * 9,81$$

# DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

## Movimiento palmar (reposo):



Imagen 26. Demostración método toma de cargas de una mano en reposo. [Fuente propia]

A continuación, se muestran los resultados recogidos en una tabla:

Edad	Sexo	Peso (kg)	Medida 1 (kg)	Medida 2 (kg)	Medida 3 (kg)	Media (kg)	Media (N)
56	M	85	0,655	0,600	0,625	0,627	6,148
25	M	70	0,570	0,555	0,525	0,550	5,396
54	F	69	0,4	0,375	0,48	0,418	4,104
24	F	76	0,450	0,450	0,435	0,445	4,365

Tabla 4. Valores de la carga de una mano en reposo. [Fuente propia]

# DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

## Movimiento dorsal

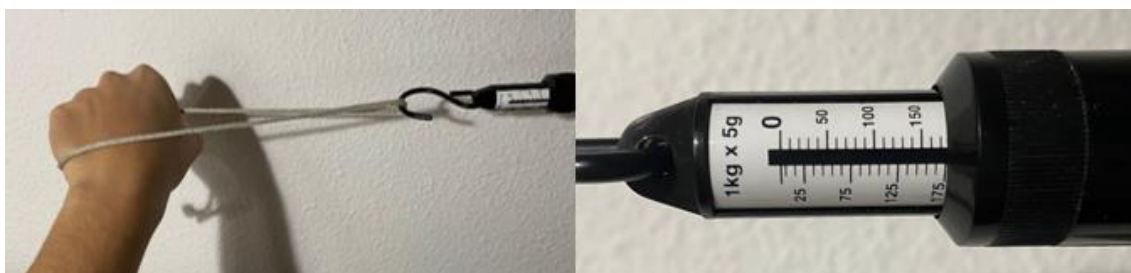


Imagen 27. Valor máximo recogido por el dinamómetro en movimiento dorsal. [Fuente propia]

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en una tabla:

Edad	Sexo	Peso (kg)	Medida 1 (kg)	Medida 2 (kg)	Medida 3 (kg)	Media (kg)	Media (N)
56	M	85	0,150	0,175	0,175	0,167	1,635
25	M	70	0,125	0,135	0,160	0,140	1,373
54	F	69	0,13	0,155	0,14	0,142	1,390
24	F	76	0,125	0,135	0,125	0,128	1,259

Tabla 5. Valores carga de en movimiento dorsal. [Fuente propia]

## 5.5 Innovación y directrices del diseño final

Partiendo del estudio de mercado resumido en el apartado 5.1 y la información recopilada tras hablar con diversos profesionales dentro del campo de la fisioterapia, se



## DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

plantearon los conceptos necesarios para el cumplimiento del objetivo de manera óptima y segura.

Estos conceptos se han dividido en grupos funcionales según su importancia [20]:

- Funciones prácticas: Aquellas características o propiedades que recogen los aspectos fisiológicos del uso.
- Funciones formal-estéticas: Aquellas características o propiedades que facilitan el uso intuitivo en el proceso de percepción multisensorial del usuario.
- Funciones símbolo-comunicativas: Aquellas características o propiedades determinadas por los aspectos espirituales, psíquicos y sociales de uso.

### 5.5.1 Función práctica

Mediante las funciones prácticas de la ortesis, se satisface el cumplimiento de la recuperación del paciente de su lesión

- La superficie personalizada debe recoger las extremidades del individuo sin holguras.
- Las zonas cercanas a las articulaciones deben permitir un movimiento libre evitando rozaduras.
- El agarre de la mano debe abrazar la extremidad de manera que permita a los músculos descansar y no estar sometidos a tensiones.
- Es imprescindible que el diseño del agarre de la mano permita un movimiento libre de la articulación del dedo pulgar en todos sus grados de libertad por ser este imprescindible en el desarrollo diario de la vida del individuo.
- Los elementos de agarre han de proporcionar seguridad y comodidad en el transcurso del uso de la ortesis en movimiento.

## **DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO**

### DOCUMENTO N°1. MEMORIA

- Es importante una correcta ubicación del punto donde pivota la muñeca en su movimiento de flexo-extensión para evitar esfuerzos adicionales que deriven a posibles lesiones adicionales.
- El acolchado de las superficies debe ser suficiente para eludir roces de la piel con el material y ha de facilitar la ventilación de la piel con lo que previene de sudores y deslizamiento de la ortesis.
- El material debe ser ligero para el uso de la férula en largos periodos de uso.

#### **5.5.2 Función formal-estética**

- Dotar al diseño de líneas curvas evocará comodidad y alta calidad
- Un modo de transmisión de seguridad en el uso de la férula es el redondeo de aristas.
- El sistema de regulación de la ortesis debe ser lo suficientemente robusto como para poder transmitir robustez y durabilidad.
- El diseño debe ser lo más simplificado posible para aportar confianza al paciente en cuanto a su capacidad de control sobre el producto.
- Para conseguir un diseño cuya reparación no sea costosa, se intentará modular en el mayor número de piezas posibles para su sustitución en caso de pérdida o rotura y así captar la atención del comprador.
- Para su fácil limpieza la mejor opción es el planteamiento del uso de un material impermeable y sólido.

## **DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO**

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

### **5.5.3 Función símbolo-comunicativa**

- Es interesante el estudio de un método de guía de la muñeca que indique de manera intuitiva al individuo la correcta dirección del desplazamiento de esta durante la rehabilitación.
- El tamaño de los números que indiquen la posición en la que se deba ubicar el pasador en cada etapa de la rehabilitación debe ser lo suficientemente grande para no ocasionar problemas a personas con alguna pequeña discapacidad visual.
- Las formas geométricas de los elementos que conformarán la ortesis por separado han de permitir montar la férula de manera instintiva sin necesidad de ayudas externas.
- No debe generar dudas acerca de la mano a la que va destinada su uso, derecha o izquierda.
- La capacidad de personalizarlo permite al paciente tener la sensación de ser dueños de un objeto único y representativo.
- Sería interesante encontrar un almohadillado color carne para que aporte sensación de confort mimetizando con el color de la piel del cuerpo humano.

# DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

## 5.5.4 Resumen características fundamentales

Todas estas características de la ortesis son importantes para la apreciación de esta y la llevará a un nivel de éxito entre los consumidores. Tras la evaluación continua del producto en todas sus etapas de desarrollo se ha concluido que las cualidades que debe cumplir son:

Movimiento regulable	Atractivo
Personalizable	Ecodiseño
Robustez	Fácil montaje
Sencillez	Modularidad
Ergonomía	Peso equilibrado
Comodidad	Resistencia a la intemperie
Ligereza	Limpieza
Económico	

## 6. PROPUESTA DE DISEÑO

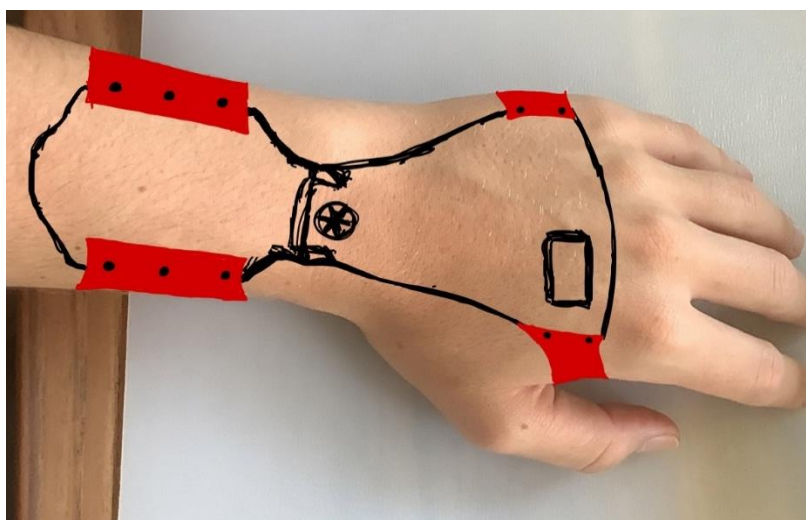
### 6.1 Bocetos iniciales

En la primera fase del proyecto, tras establecer las funciones necesarias de la ortesis y haber realizado un exhaustivo análisis de mercado para observar lo existente a día de hoy en la línea de los objetivos del proyecto se procedió a realizar un brainstorming para la búsqueda de una solución nueva y original, combinar las ideas para su mejora.

El objetivo principal ha consistido en encontrar un diseño cuyo sistema de regulación estorbase lo mínimo posible al usuario.

Parte de los bocetos se han realizado con la ayuda de una Tablet para trazar las ideas sobre una imagen real de una mano para poder visualizarla de manera más ilustrativa digitalmente. Cuando no ha habido disponibilidad de uso del dispositivo en el momento de la idea se ha empleado papel y lápiz.

El primer boceto está inspirado en las muñequeras rígidas empleadas en motocross para protección de la muñeca.

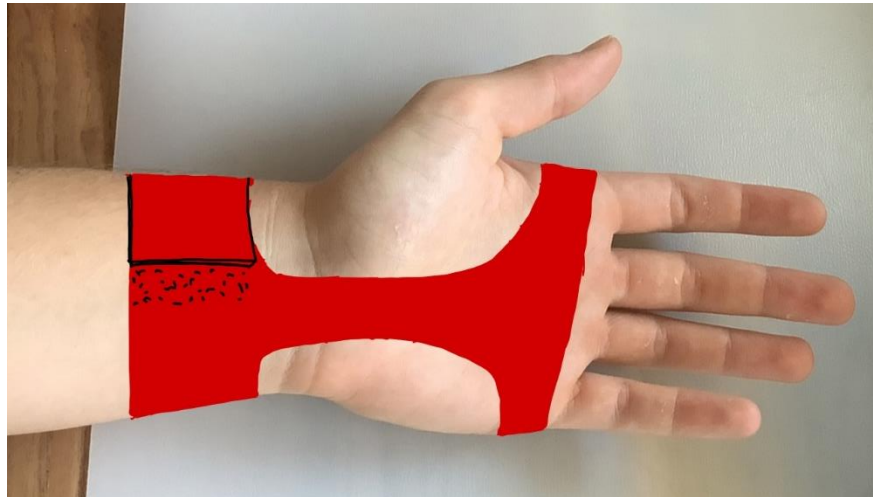


*Imagen 28. Vista superior boceto 1. [Fuente propia]*

## DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

### DOCUMENTO N°1. MEMORIA

El principal inconveniente que muestra es el entorpecimiento del movimiento de extensión de la mano y la regulación de ángulo. Además, presenta poca superficie sobre la antepalma de la mano para colocar el soporte del exoesqueleto.



*Imagen 29. Vista posterior boceto 1 digital. [Fuente propia]*

La sujeción a las extremidades está pensada en forma de guante para máximo confort, pero descartado ya que esto implicaría el uso de remaches perdiendo el concepto de ecodiseño y modularidad.

En el siguiente boceto se evoluciona en todos los aspectos, desde el método de regulación del movimiento palmar como la comodidad y viabilidad del diseño de los agarres.

Sin embargo, presenta algunos inconvenientes por los que fue descartado por la necesidad de tornillos, remaches e inviabilidad estructural al ser impreso en 3D.

# DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOSQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

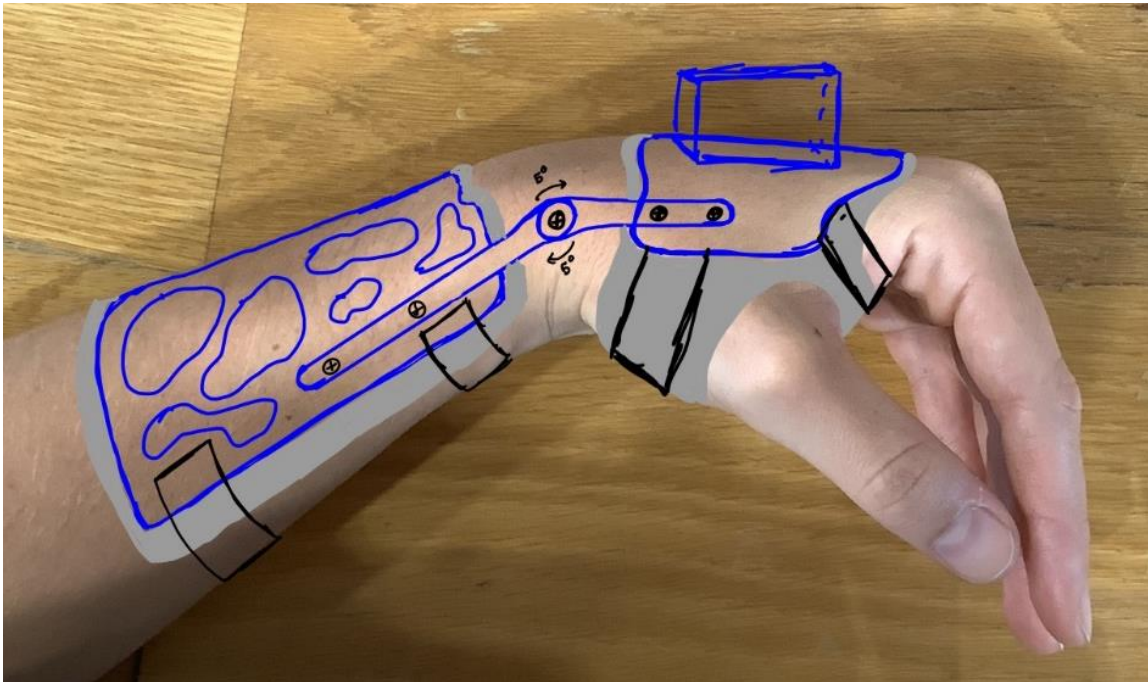


Imagen 30. Boceto 2 digital. [Fuente propia]

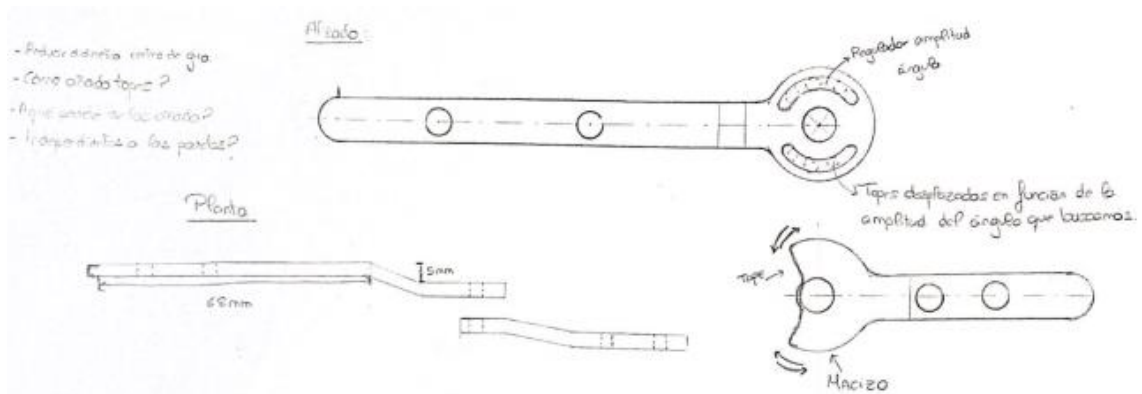


Imagen 31. Regulador ángulo articulación de la muñeca del Boceto 2. [Fuente propia]

El último boceto previo al boceto final está enfocado en la búsqueda de un concepto original y distinguible, pero sin embargo con graves inconvenientes en cuanto a la regulación.

# DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

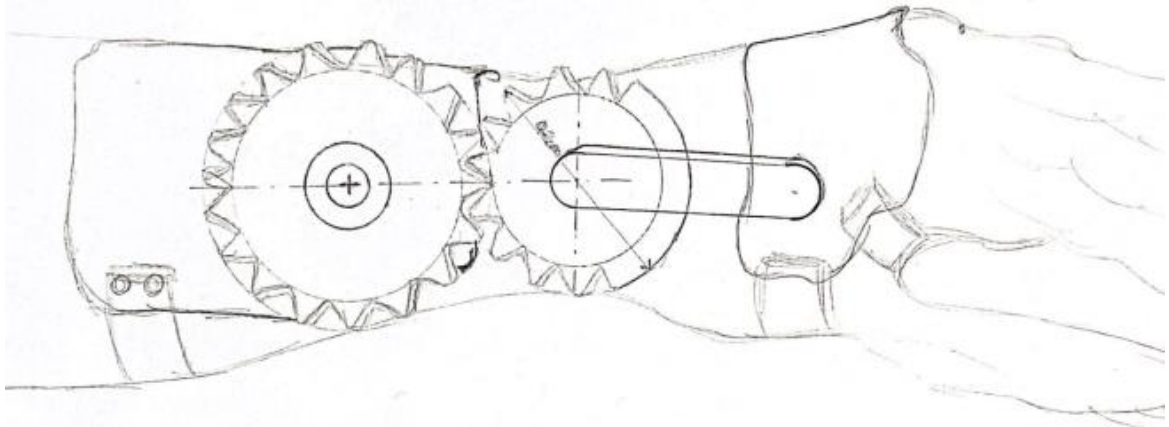


Imagen 32. Boceto 3. [Fuente propia]

## 6.1 Selección del diseño final

Finalmente, buscando un mecanismo de regulación lo más simplificado posible para su uso y montaje, se optó por sistema de disco guiado por un eje que conecta la articulación de la muñeca con la mano. Al ser un diseño sencillo y muy visual durante su uso, el usuario será capaz de realizar uso de este sin necesidad de un experto en el ámbito de la ingeniería.

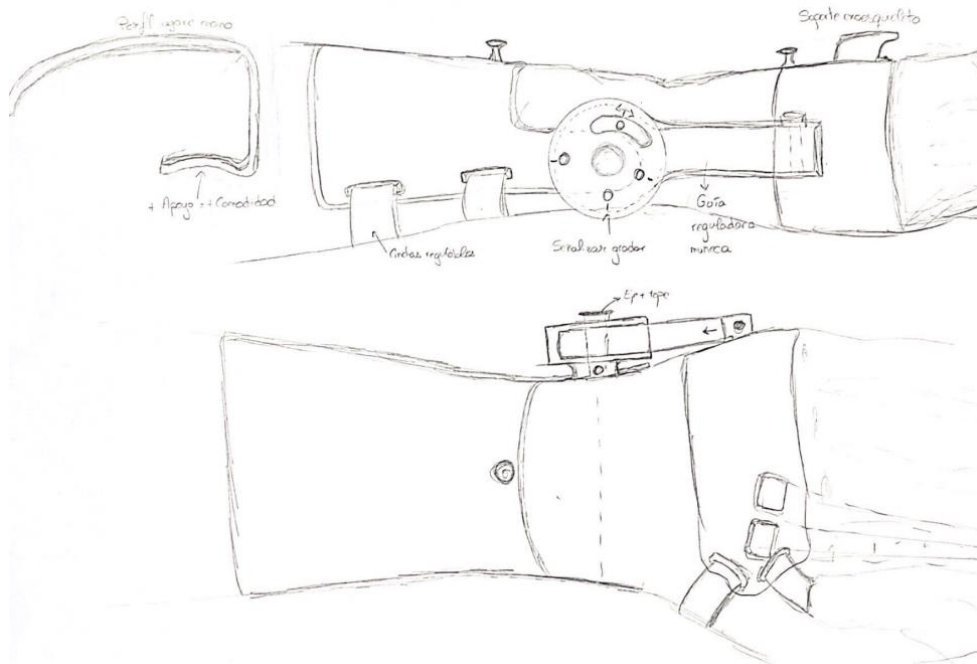


Imagen 33. Boceto final. [Fuente propia]



## **7. ESTUDIO ERGONÓMICO**

Según la Asociación Española de Ergonomía, la ergonomía es el conjunto de conocimientos de carácter multidisciplinar aplicados para la adecuación de los productos, sistemas y entornos artificiales a las necesidades, limitaciones y características de sus usuarios, optimizando la eficacia, seguridad y bienestar.

### **7.1 Objetivos ergonómicos**

Un buen diseño ergonómico es aquel que garantiza un producto seguro y fácil de usar, mejorando el procedimiento de la tarea que está destinado a desarrollar. Atendiendo a estas definiciones, se exponen brevemente las premisas que cumple la ortesis:

- **Diseño:** gracias a los estudios antropométricos y fisiológicos la férula se ajusta completamente a las extremidades del paciente para confort postural, evitando lesiones.
- **Material:** Gracias a los avances tecnológicos, se imprime en 3D obteniendo un producto muy ligero con las mismas propiedades mecánicas que la mayoría de ortesis expuestas en el mercado.
- **Seguridad:** todas las esquinas han sido redondeadas y se protege la piel del contacto directo con la ortesis gracias a un material tipo espuma suave proporcionando a su vez máximo confort.

### **7.2 Parametrización y diseño**

Para la personalización del diseño se parametrizarán los valores que mayores variaciones han presentado en la toma de datos de las manos de los individuos voluntarios en el estudio además de los primordiales relacionados con la fisiología de la mano. Estos valores corresponden a los seleccionados como primordiales en el proceso de toma y recogida de datos.

## DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOSQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

### DOCUMENTO N°1. MEMORIA

Aquellos croquis empleados para el contorno de los elementos de agarre a las extremidades serán trabajados con una equidistancia de 3mm, valor que tendrá el grosor del elemento acolchado en contacto directo con la piel del paciente.

Estos valores conformarán las variables globales con las que se trabajarán en SolidWorks, el software empleado para la creación del diseño. A continuación, se mostrará el proceso con las medidas del apartado de selección de datos del paciente número 1 como ejemplo:

#### Agarre mano:

Parámetros en X:

- “A” = 81mm: Línea 1 en la Imagen 18.

Parámetros en Y:

- “B” = 28mm: Línea 14 en la Imagen 20. A la hora de registrar su valor será: “L14” / 2.

Parámetros en Z:

- “C” = 42,70mm: Línea 2.

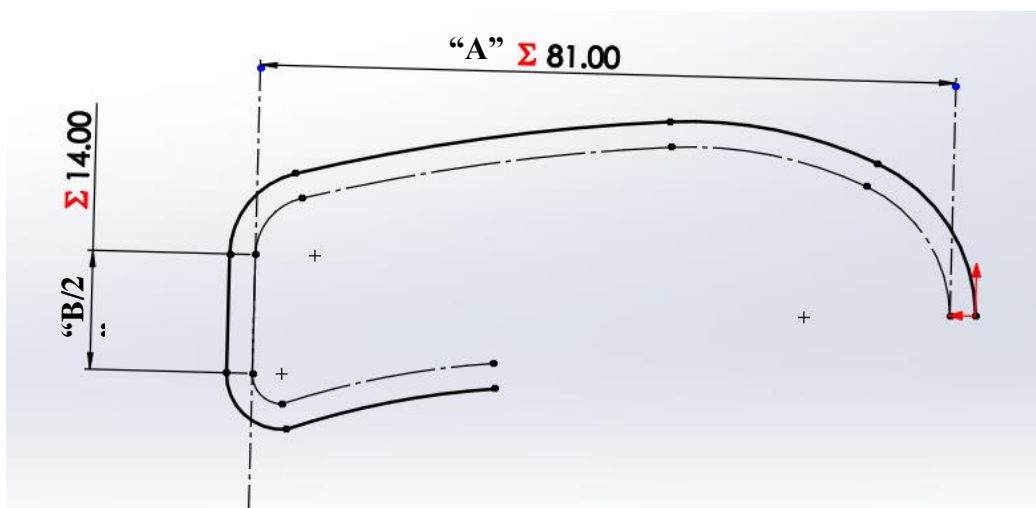


Imagen 34. Parametrización contorno agarre mano. [Fuente propia]

# DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

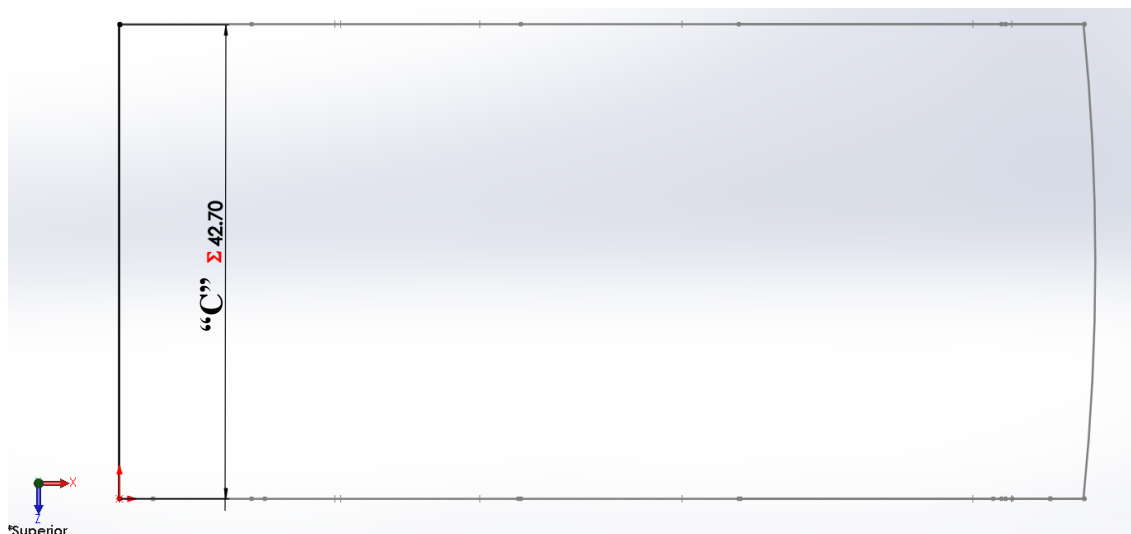


Imagen 35. Parametrización anchura agarre mano. [Fuente propia]

Adaptando la curvatura a la palma y antepalma de la mano y dejando libre la zona que cubre el rango de movilidad del dedo pulgar, se consigue máximo confort para el paciente durante las semanas que conforman todo el proceso de rehabilitación.

El saliente ubicado en la parte superior será empleado en la última etapa del proceso de rehabilitación donde gracias a una gomilla que lo conecta con el mismo saliente del agarre del antebrazo el paciente podrá realizar ejercicios de mayor esfuerzo focalizados al fortalecimiento de la musculatura.

Tiene la altura mínima necesaria para poder colocar la gomilla estorbando lo mínimo posible en el día a día del paciente y sin chocar con la piel del paciente evitando rozaduras.

## Soporte exoesqueleto

Por último, se parametriza la Línea y el Ángulo correspondientes al agarre del exoesqueleto del dedo índice en este caso.

# DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

Parámetros en X:

- “X” = 67mm: Línea 15
- “Ang” = 98°: Ang 1

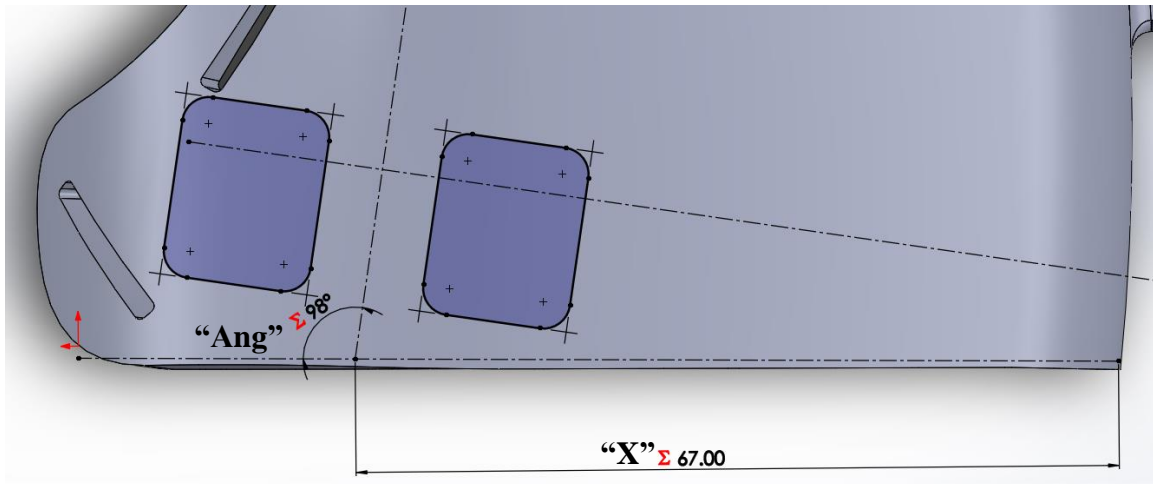


Imagen 36. Parametrización alineación soporte exoesqueleto. [Fuente propia]

## Agarre antebrazo

Parámetros en X:

- “D” = 53mm: Línea 3.
- “F” = 56 mm: Línea 6.

Parámetros en Y:

- “E” = 26mm: Línea 10.
- “G” = 28mm: Línea 11.

## DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

- “H” = 30mm: Línea 12.

Parámetros en Z:

- Distancia entre planos: “L5” / 2.

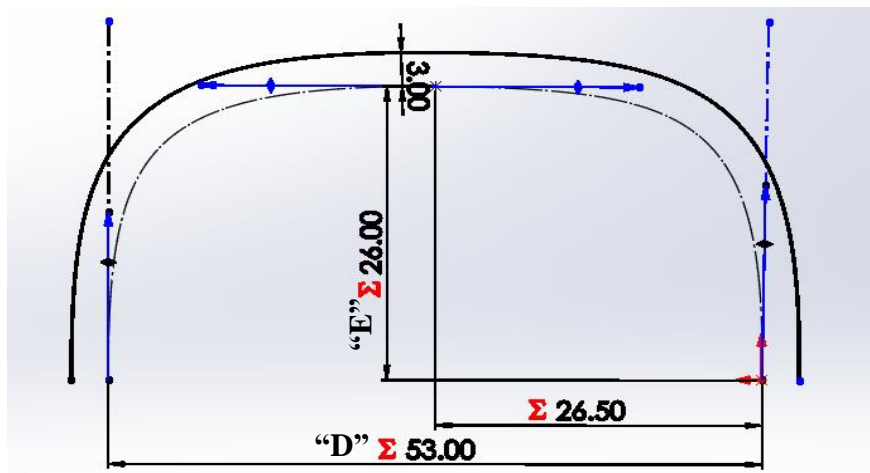


Imagen 37. Parametrización contorno agarre antebrazo. [Fuente propia]

El contorno, al igual que el agarre ubicado en la mano se ha adaptado lo máximo posible a la ergonomía del antebrazo. A pesar de que la mayoría de las férulas impresas en 3D diseñadas con el mismo objetivo del presente proyecto tengan un diseño troncocónico, esta forma está lejos de ser la ideal para aportar un cómodo agarre en largos períodos de tiempo.

El agarre se ha dividido en 2 segmentos para la corrección del perfil, cuyo motivo ha sido explicado anteriormente en la Imagen 17. A través de la observación de la imagen enviada por el paciente y sus características, el diseñador estimador si es necesaria o no la desviación según la altura a la que se encuentre con respecto a la longitud del agarre.

# DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

## DOCUMENTO N°1. MEMORIA

En la evolución del diseño, se estimó necesario la incorporación de unos salientes laterales que cubren la articulación de la muñeca sin llegar a entrar en contacto con la mano. Su fin es el de servir de soporte para el punto de pivote del eje además de ser guía para el usuario en la linealidad del movimiento de la articulación y prever futuras lesiones.

### Parámetros en Y:

- “T” = 7mm: Línea 13.

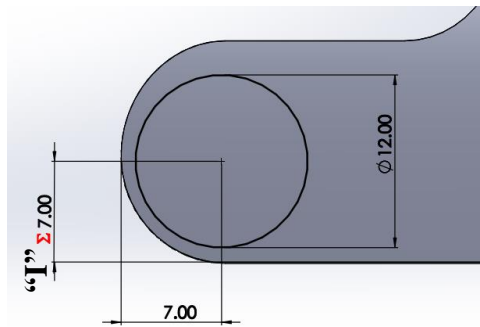


Imagen 38. Ubicación punto pivote del eje de la muñeca. [Fuente propia]

### Parámetros en Z:

- “J” = 26,76mm: Línea 4.

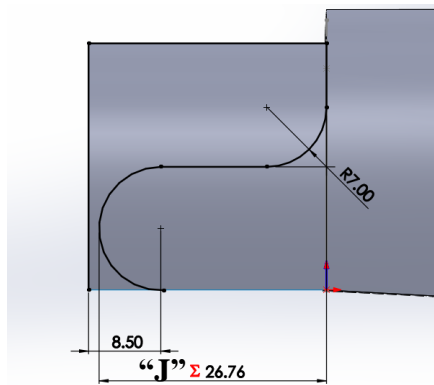


Imagen 39. Medidas salientes que guían en su movimiento a la muñeca. [Fuente propia]

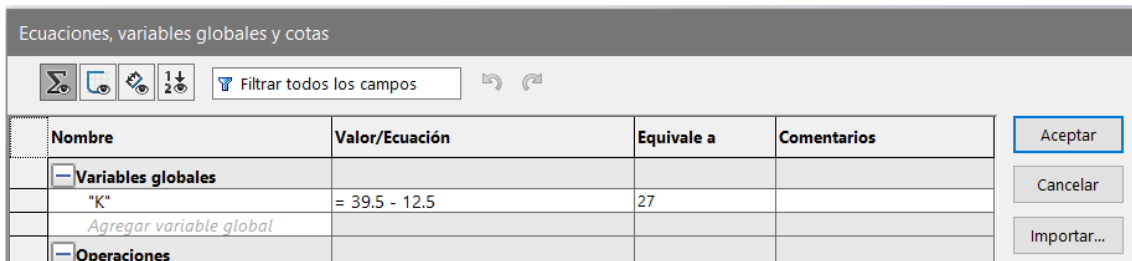
# DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOSQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

## Guía reguladora

Parámetros en Z:

- “K” = 27mm. Es el resultado de la ecuación: Línea 9 – 12,5mm donde 12,5mm es la mitad del diámetro del disco cuyo centro es el punto pivote de la muñeca.



Nombre	Valor/Ecuación	Equivale a	Comentarios
<b>Variables globales</b>			
"K"	= 39.5 - 12.5	27	
Agregar variable global			
<b>Operaciones</b>			

Imagen 40. Ecuación “J”. [Fuente propia]

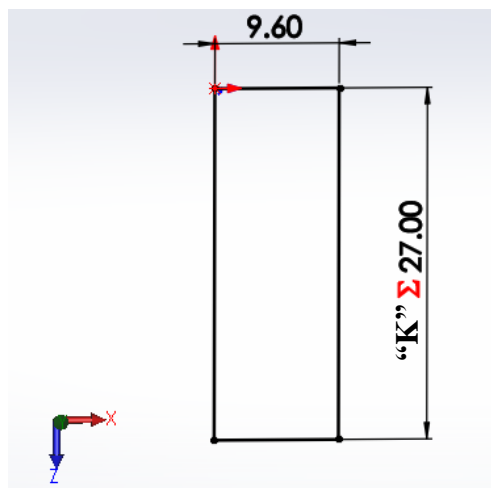
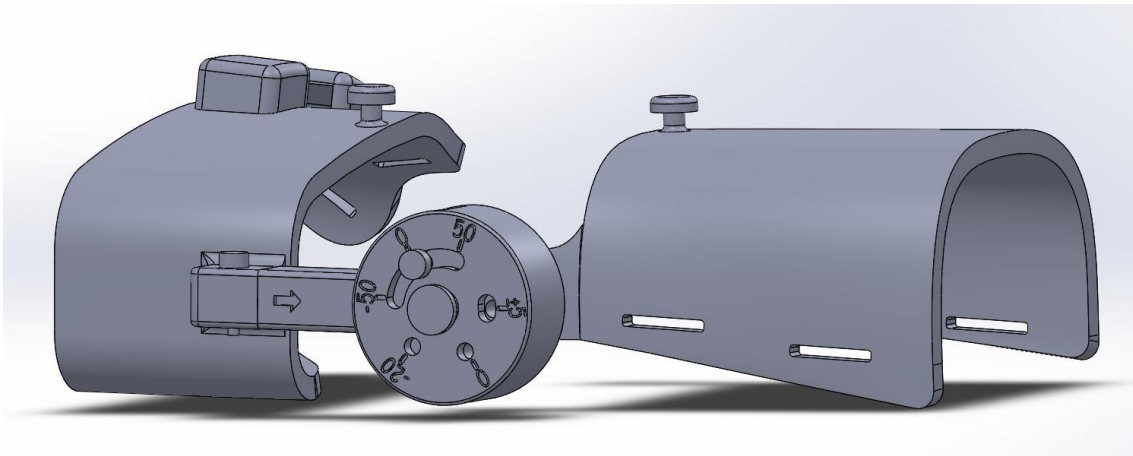


Imagen 41. Parametrización guía reguladora. [Fuente propia]

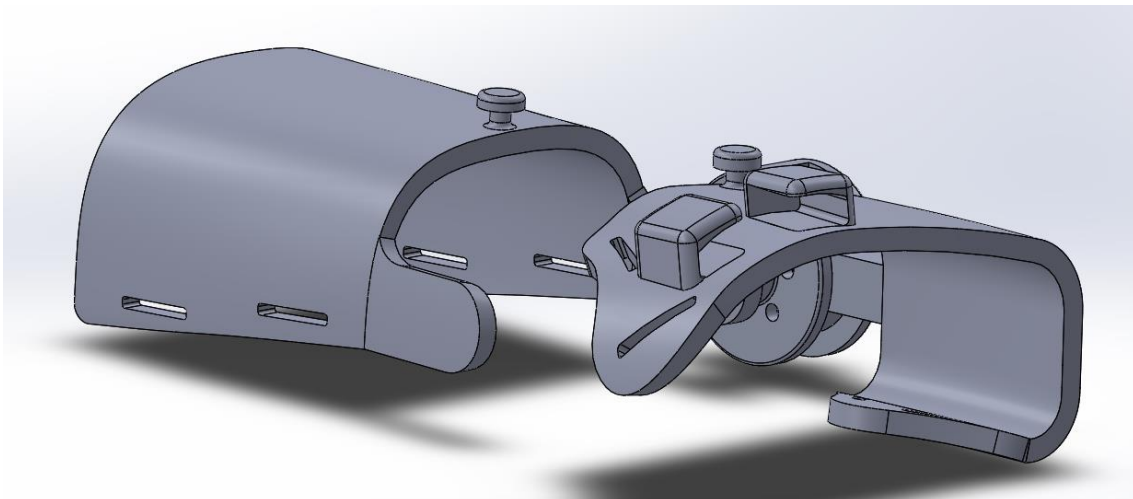
## 8. SOLUCIONES Y PROCESO VIRTUAL

### 8.1 Prototipado virtual

Continuando con el diseño final seleccionado, se procede al desarrollo de un modelo 3D de acuerdo con las características estipuladas. Para llevar a cabo dicho modelado se ha empleado el software SolidWorks.



*Imagen 42. Vista 1 prototipo virtual. [Fuente propia]*

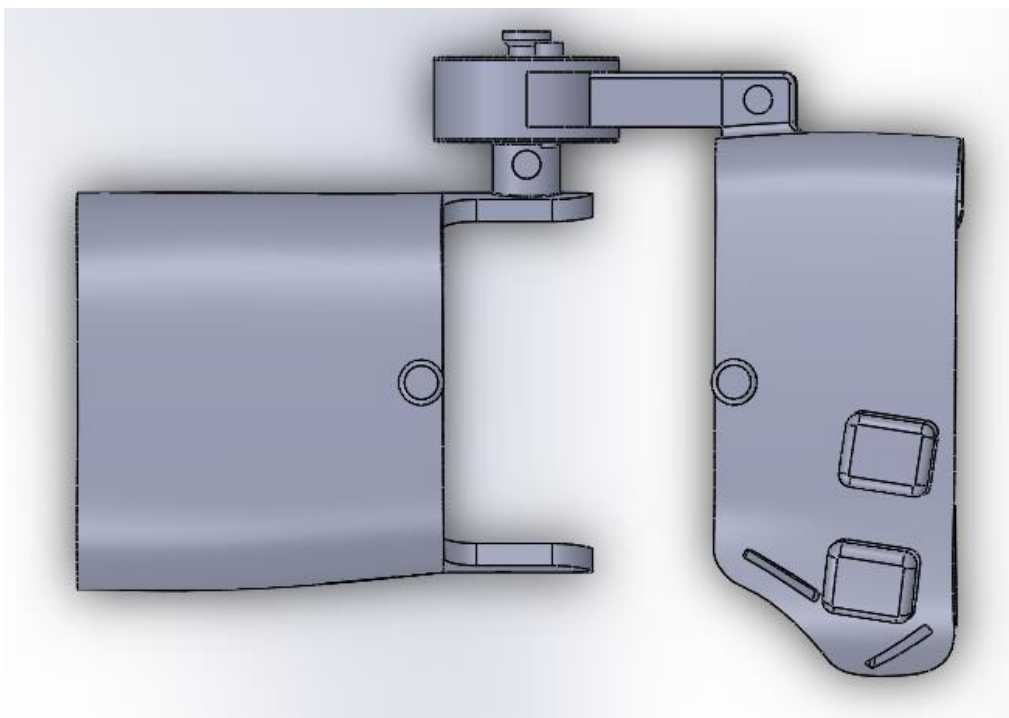


*Imagen 43. Vista 2 prototipo virtual. [Fuente propia]*



# DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA



*Imagen 44. Vista 3 prototipo virtual. [Fuente propia]*

## 8.2 Análisis teórico virtual

Esta fase del proyecto corresponde al análisis estático de tensiones y fuerzas teóricas ejercidas sobre la estructura de la ortesis realizado con el programa SolidWorks. Se plantearán las hipótesis que se darían en la realidad en función de la dirección de movimiento de la mano (palmar a lo largo del eje Y y palmar a lo largo del eje X) tomando como valores mínimos los obtenidos en el apartado *Pruebas de prototipado*.

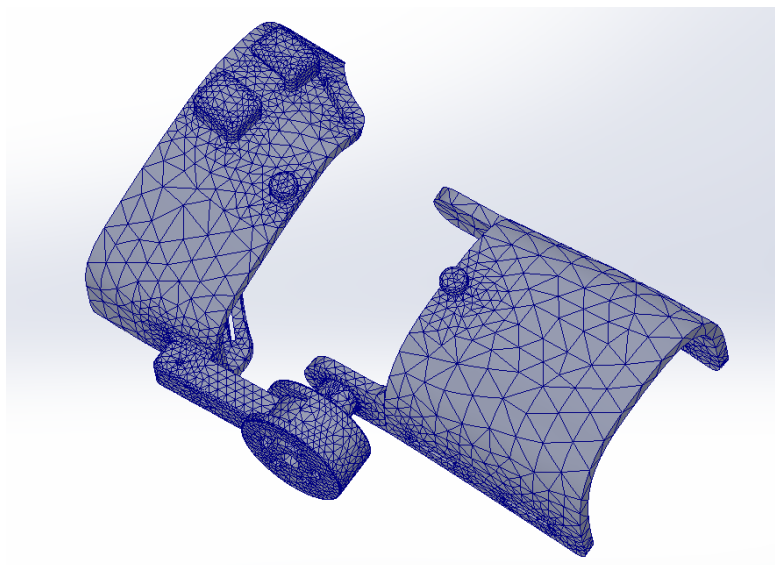
En primer lugar, se ocultan los pasadores y la pieza del eje del disco y se establecen las restricciones pertinentes según sus funciones. Además, se aplican restricciones fijas al agarre del antebrazo ya que se trata de la pieza que no debe moverse.

A continuación, dentro del apartado de materiales se crea uno nuevo personalizado con las propiedades mecánicas de la resina de impresión recogidas en el Anexo 13.1.

## DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

Se crea un mallado tal:



*Imagen 45. Mallado 3D de la ortesis. [Fuente propia]*

Por último, se establecen las cargas, en magnitud y dirección. Anteriormente se ha mencionado el apartado del proyecto donde se encuentran recogidos los valores de carga mínimos medidos con el dinamómetro, oscilando entre 4N y 6,5 N. En este caso, se han supuesto cargas de 10 N simulando un caso extremo y estar seguros de la resistencia del prototipo y consecución de la impresión del diseño final. En el caso de movimiento dorsal, debido a que los valores recogidos se tratan de los valores máximos los cuales no superan los 2N, se supondrán cargas de 2,5 N en la simulación.

# DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

Seguidamente, se detallará cada hipótesis de ensayo:

## - Carga -10 N en el eje Y

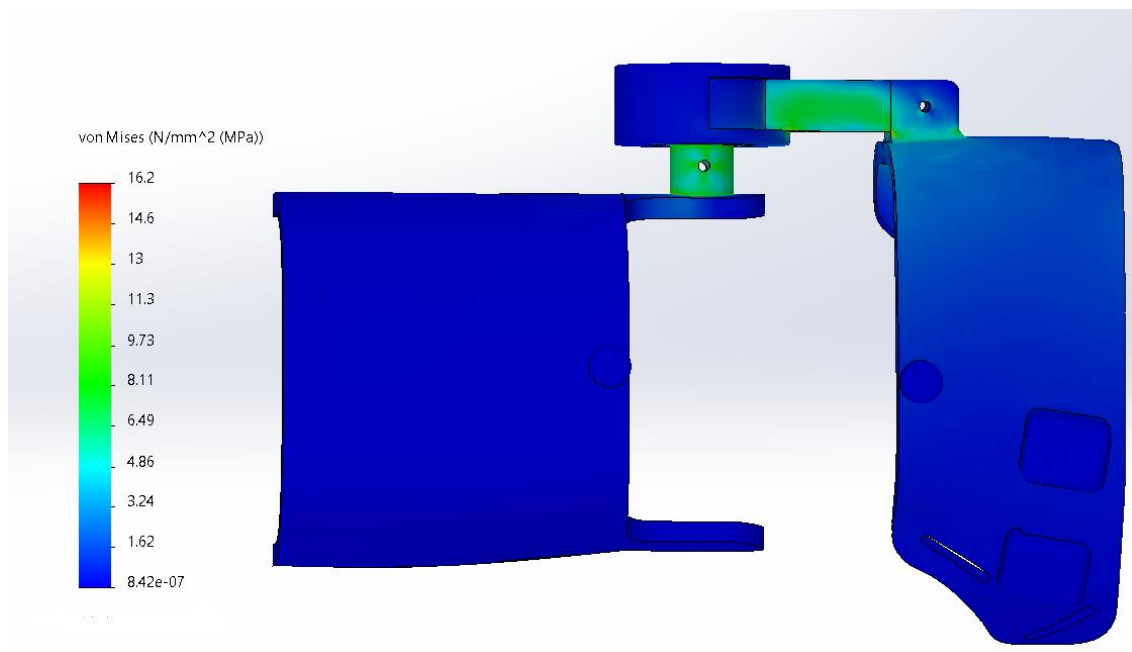


Imagen 46. Esfuerzo -10 N sobre la férula en dirección Y. [Fuente propia]

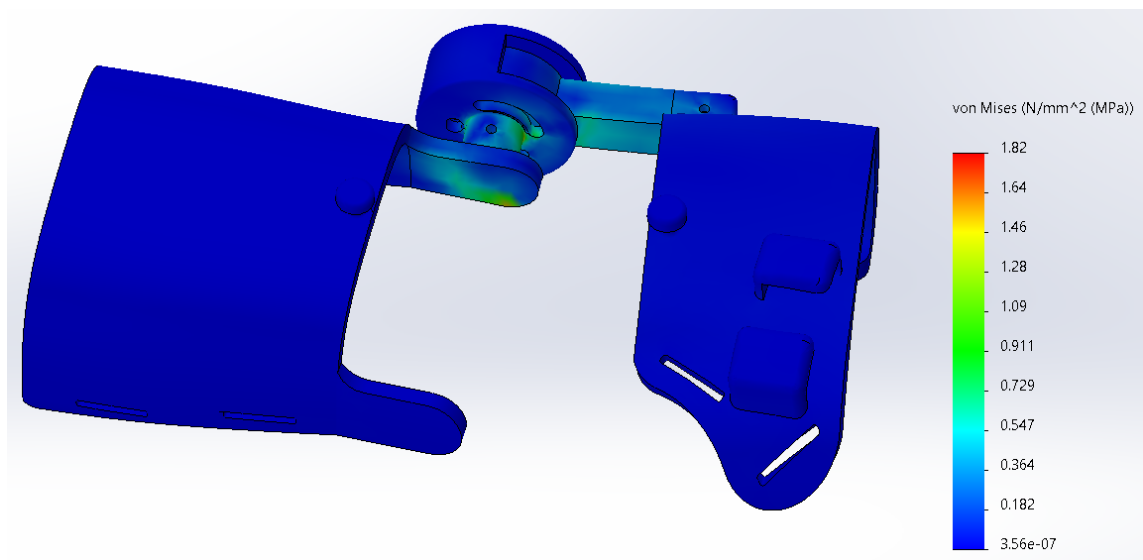
Se observa que los valores de esfuerzos que soporta la férula van desde aproximadamente 0 MPa a 16,2 MPa. El valor máximo se representa en color rojo, el cual es tan puntual que apenas puede apreciarse representado en la simulación. Estos resultados indican que la pieza no llegará a deformarse ya que el límite elástico se encuentra por encima del mayor esfuerzo a soportar por la férula. Se concluye por tanto que el coeficiente de seguridad se encuentra dentro de los márgenes adecuados.

Debido a que el esfuerzo capaz de generar la mano es mayor en el movimiento de flexión que en el de extensión, se presuponen mejores datos en el caso de aplicación de 10 N a lo largo del eje Y, cumpliendo por tanto con las restricciones estipuladas.

## DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

- Carga 2,5 N en el eje X



*Imagen 47. Esfuerzo de 2,5 N sobre la férula en dirección X. [Fuente propia]*

En esta situación, los esfuerzos soportados por la férula tienen valores de hasta 1,82 MPa. Se cumplen las mismas premisas que el apartado anterior, donde la férula no se deformará y tiene por tanto un coeficiente de seguridad adecuado.

Se presupone entonces, que el movimiento a lo largo del eje -X sobre el cual el paciente apenas es capaz de ejercer carga alguna, se encuentra dentro de los requisitos requeridos.

## **9. SOLUCIONES Y PROCESO FÍSICO**

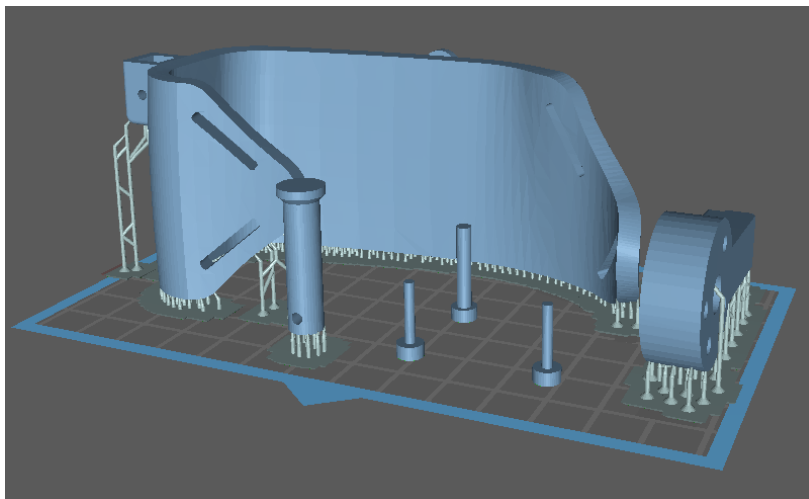
### **9.1 Preparación para la impresión 3D**

Para el desarrollo del prototipo de la férula se ha hecho uso de una impresora LCD conocida como Phrozen Sonic Mini 4K, para la que se ha empleado una resina líquida de la marca Phrozen de color gris.

El software empleado para la creación del archivo necesario para impresión se denomina Chitubox, a partir del cual se han fijado todos los parámetros para realizar una correcta impresión. Este archivo de tipo .ctb, es el que la impresora lee y ejecuta, introducido mediante una tarjeta USB.

Para poder trabajar en este software, los archivos en SolidWorks que contienen los diseños de las prótesis han sido importados a otro tipo de archivo .STL. Se coloca la pieza en la posición óptima y creando una base y soportes que aporten estabilidad y seguridad a la hora de retirar las piezas cuando aún no se han terminado de curar.

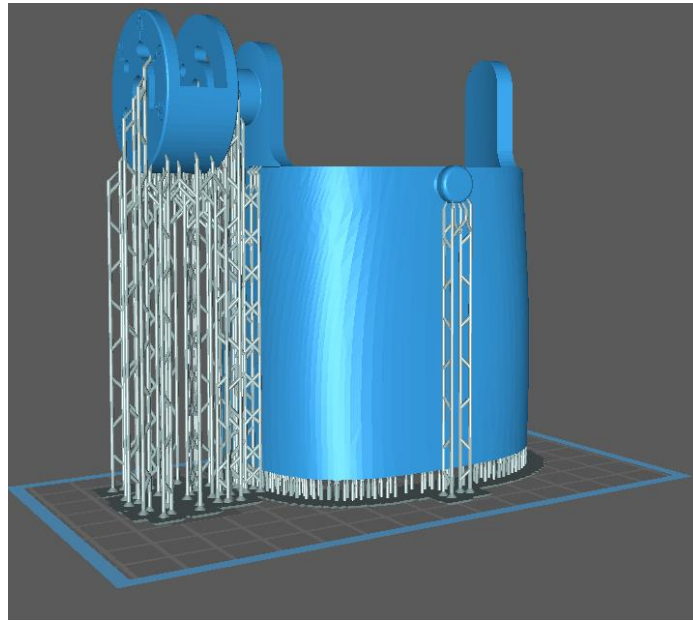
Para optimización del tiempo y espacio disponible en la impresora, el conjunto total de la ortesis se ha impreso en dos tandas.



*Imagen 48. Preparación piezas ortesis para impresión 3D. [Fuente propia]*

# DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA



*Imagen 49. Preparación carcasa antebrazo para impresión 3D. [Fuente propia]*

Cada pieza tarda aproximadamente un total de 6 horas en imprimirse, por lo que el tiempo empleado en la impresión es de 12 horas para el conjunto completo de la ortesis.

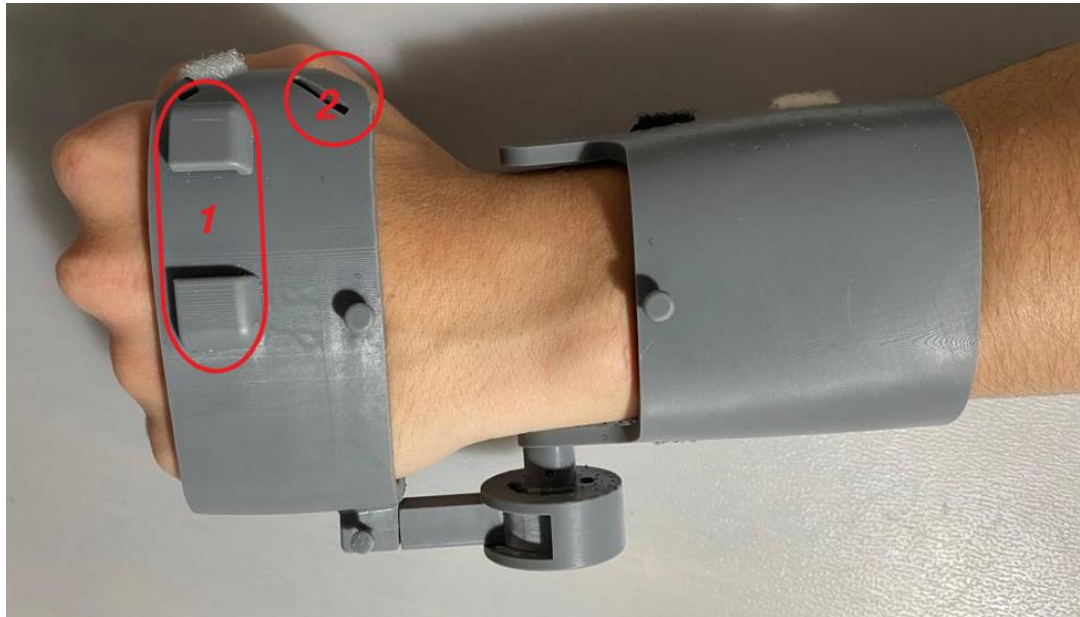
La calidad de precisión de la resina y el método de adición empleado ha permitido un acabado mucho más estético y sin necesidad de lijar por exceso de material sobrante.

## **9.2 Pruebas prototipado**

A pesar de que el primer prototipo físico cumple con los objetivos propuestos y está parametrizado con gran precisión, existen puntos a mejorar para la obtención de una férula óptima:

# DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA



*Imagen 50. Vista superior Prototipo 1. [Fuente propia]*

- 1) El soporte del exoesqueleto no se encuentra correctamente alineado con el dedo índice.
- 2) El agarre a la mano cubre en exceso el movimiento del dedo pulgar.



*Imagen 51. Vista hueco zona articulación del dedo pulgar. [Fuente propia]*

# DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

- 3) Hay un exceso de hueco en la zona de la articulación del primer dedo.



*Imagen 52. Vista lateral Prototipo 1. [Fuente propia]*

- 4) Para mayor confort y sujeción, se aumenta la zona de cobertura del agarre del antebrazo.
- 5) Se disminuye en 10° la amplitud máxima del movimiento de flexo-extensión en la última fase del protocolo.

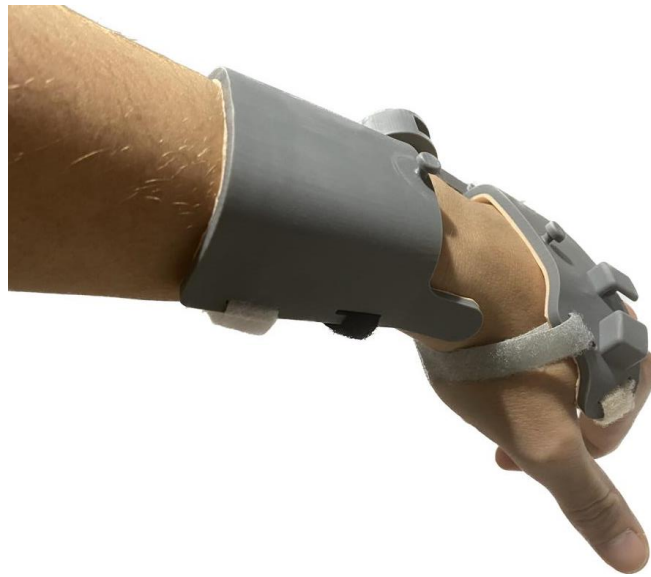
## 9.3 Rediseño y prototipo final

Tras subsanar los fallos encontrados en la prueba de prototipado, se imprime con éxito un prototipo final que cumple las expectativas que tiene este proyecto como objetivo.



# DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA



*Imagen 53. Imagen 1 prototipo final. [Fuente propia]*



*Imagen 54. Imagen 2 prototipo final. [Fuente propia]*

## 9.4 Análisis experimental del prototipo

Una vez impresa la ortesis se ha acoplado al paciente seleccionado como ejemplo en el desarrollo del proyecto para la prueba del prototipo final. Se le ha pedido que se la coloque únicamente siguiendo los pasos del manual de instrucciones diseñado y aplicando esfuerzo sobre ella, cumpliendo con éxito las expectativas según los estudios realizados previamente.

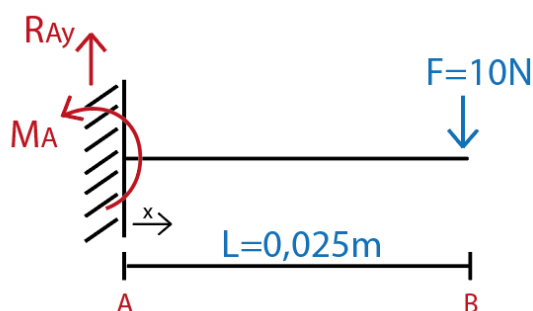
## 9.5 Análisis teórico manual

Se realiza un estudio sobre la pieza que constituye la guía reguladora por ser la más crítica de entre todas las que componen la férula.

Se trata para su estudio como voladizo, empotrada por el pasador durante el período de inmovilización, siendo estos días los mas sufridos por la férula por ser la fase más crítica e incómoda del paciente.

Se aplica la carga crítica de 10N en el punto de unión con la pieza que conforma el agarre a la mano, miembro que ejercerá dicha tensión por movimientos del paciente.

A continuación, se muestra el cálculo de reacciones y solicitaciones realizado primeramente:



$GH = 2 - 2 = 0$ . Por lo que es isostático.

Ecuaciones de equilibrio externo:

$$\sum F_v = 0$$

$$R_A - 10 = 0 \rightarrow R_A = 10 \text{ N}$$

$$\sum M_A = 0$$

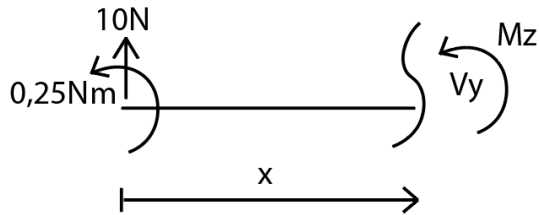
**DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOSQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO**

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

$$M_A - 10 \cdot (0,0025) = 0 \rightarrow M_A = 0,25 \text{ Nm}$$

Leyes de esfuerzo:

Tramo A-B  $0 \leq x \leq 0,025 \text{ m}$



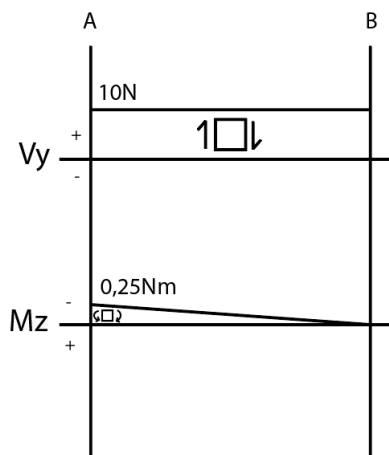
$$\sum F_y = 0$$

$$-V_y + 10 = 0 \rightarrow V_y = 10 \text{ N}$$

$$\sum M_z = 0$$

$$-M_z + 10x - 0,25 = 0 \rightarrow M_z = 10x - 0,25 \text{ Nm}$$

Diagrama de esfuerzos:



## DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

A continuación, se ha realizado un cálculo de deformaciones.

En primer lugar, se ha calculado el momento de inercia. Al tener una sección cuadrada y maciza:

$$I = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,00965 \cdot 0,01^3 = 8,042 \cdot 10^{-10} \text{ m}^4$$

Sabiendo que el módulo de Young de la resina es:

$$E = 2300 \text{ N/mm}^2 = 2,3 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$$

Se puede calcular entonces:

Giro: ángulo existente entre las tangentes de la directriz de la vida inicial y la directriz de la viga deformada. El valor máximo será el calculado a continuación:

$$\theta_B = \frac{F \cdot L^2}{2 \cdot E \cdot I} = \frac{10 \cdot 0,025^2}{2 \cdot 8,042 \cdot 10^{-10} \cdot 2,3 \cdot 10^9} = 0,00169 \text{ m} = 1,69 \text{ mm}$$

Elástica: es el cambio temporal de forma producido por una fuerza mecánica dentro del límite elástico del material sometido bajo presión, recuperándose la forma y dimensión originales al eliminar la fuerza deformante. Dejando como variable la x para su posible cálculo por puntos:

$$y_{AB} = \frac{F}{6 \cdot E \cdot I} \cdot (L - x)^2 \cdot (2 \cdot L + x) = \frac{10}{6 \cdot 8,042 \cdot 10^{-10} \cdot 2,3 \cdot 10^9} \cdot (0,025 - x)^2 \cdot (2 \cdot 0,025 + x) \text{ m}$$

Flecha: se trata de la distancia entre la fibra neutra en posición inicial y la fibra neutra en posición deformada. La flecha máxima es la calculada a continuación:

$$y_A = \frac{F \cdot L^3}{2 \cdot E \cdot I} = \frac{10 \cdot 0,025^3}{3 \cdot 8,042 \cdot 10^{-10} \cdot 2,3 \cdot 10^9} = 2,816 \cdot 10^{-5} \text{ m} = 0,02816 \text{ mm}$$

## **10. CONCLUSIONES**

Con el presente proyecto, se ha conseguido un producto innovador capaz de cubrir las necesidades del público objetivo: pacientes con necesidad de un producto sanitario de Clase I (aquel que entra en contacto únicamente con la piel intacta del individuo) capaces de hacer uso de los elementos mecánicos que dotan de dinamismo la ortesis.

Tras varias pruebas, se ha conseguido una ortesis dinámica de gran ligereza, con un diseño compacto, resistente y agradable a la vista, formado por líneas básicas y de fácil uso. Gracias a su modularidad y el empleo de un único material para su fabricación se ha conseguido un diseño ecológico y sostenible, es decir, se puede afirmar que cumple satisfactoriamente con todos los objetivos propuestos.

El uso de la tecnología CAD para su diseño ofrece un producto de fácil y rápida personalización gracias a su parametrización, de tal forma que cualquier variación apenas afecta a los costes o tiempos de espera. Ofrece, además, importantes ventajas tales como una mayor exactitud en el diseño, menor desperdicio de materiales, posibilidad de diseños simétricos y simplificación del producto si la prescripción médica así lo indicase en tiempos mínimos.

Esta tecnología se complementa perfectamente con la fabricación aditiva, empleada para la obtención física de la ortesis. Convierte modelos digitales en objetos tridimensionales sólidos con la ventaja de que no necesita ni moldes ni utillaje de ningún tipo. Esto permite disminuir tiempo de fabricación ya que reduce los procesos intermedios, no genera residuos, disminuye aún más los costes y más respetuoso con el medio ambiente frente a otros sistemas como la inyección.

## **11. LÍNEAS DE FUTURO**

Para poder comprobar fielmente la viabilidad sanitaria de la ortesis diseñada, sería idóneo ponerla en práctica con pacientes reales y realizar un seguimiento exhaustivo a lo largo de la rehabilitación, anotando el grado de satisfacción.

Una vez comprobada su admisibilidad en el ámbito médico, para el siguiente paso se buscaría una impresora profesional para perfeccionar los acabados y mejora de las características mecánicas del material.

Podría elevarse la ortesis un paso más dentro del ámbito tecnológico, incorporando en el disco una pantalla táctil, la cual funcionaría como lo que se conocen hoy día como relojes digitales. Conectada a una aplicación móvil, guiará al paciente a lo largo de las fases del proceso informando de cualquier anomalía gracias a su conexión con sensores de presión distribuidos por las carcasas que componen la férula.

Una automatización del giro de la guía reguladora de amplitud de movimiento de la articulación de la muñeca permitiría una reducción de espacio saliente a los laterales de la ortesis, optimizando la comodidad del paciente.

## **12. DISEÑO DE IMAGEN**

El logotipo se trata de una pieza fundamental en la imagen de la marca de la férula que se quiere lanzar, ayudando a comunicar los valores e identidad de la función objetivo: el bienestar y la salud de las personas.

Es de suma importancia encontrar una imagen que la represente, teniendo en cuenta los elementos básicos que componen una imagen corporativa: color, tipografía, forma y símbolos.



*Imagen 55. Imagetipo de la empresa de la ortesis. [Fuente propia]*

Este diseño pretende representar el elemento simbólico de la ortesis, basado en la guía reguladora de ángulos para cada fase del protocolo de rehabilitación. Sugiere dinamismo, característica primordial para la distinción de la empresa, ya que se basa en la venta de una férula dinámica de muñeca, un producto muy difícil de encontrar en el mercado.

La selección de colores no ha sido aleatoria, el azul claro ha sido elegido por su evocación de confianza, armonía, calma, paz, protección y serenidad, además, el azul es

## DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

el color favorito por la población. Por otro lado, el verde claro se asocia con la salud, prosperidad, crecimiento, equilibrio, etc. Todas estas características son las que se pretende transmitir a un paciente el cual se presenta con nerviosismo frente a un proceso de rehabilitación y recuperación tras un período de dolor.



*Imagen 56. Colores corporativos ortesisalud. [Fuente propia]*

HEX - #5096D1

HEX - # 22A63A



## 13. ANEXOS

### 13.1 Materiales

#### 13.1.1 Información y especificaciones de la Resina TR300 de Phrozen

El material empleado para la impresión de la ortesis es una resina termorresistente para aplicaciones de alta temperatura denominada *Phrozen TR300 Ultra High Temp Resin*. Esta resina es un material ideal para el modelado conceptual, la creación de prototipos funcionales, las herramientas de fabricación y las piezas de uso final. Está especialmente desarrollado para impresoras 3D LCD de 405 nm y tan solo tarde 1,3 segundos en curarse cuando se imprime con una impresora de la serie Phrozen Sonic.



*Imagen 57. Resina empleada para la impresión 3D. [21]*

A continuación, se mencionan todas las propiedades de la resina TR300 de Phrozen, empleadas en la personalización de características del material en el análisis estructural realizado con SolidWorks.

- Viscosidad: 160 cps a 250 °C.
- Densidad: 1,1 g / cm<sup>3</sup>.

## **DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO**

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

- $T_g$ : 220 °C.
- Alargamiento por tracción a la rotura: 2%.
- Resistencia al desgarro: 32 MPa.
- Módulo de tracción: 1850 MPa.
- Dureza superficial: Shore 80D.
- Dureza: 5H (a 500g de carga).
- Resistencia al impacto con muescas IZOD: 8 KJ / m<sup>2</sup>.

## DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

### 13.1.2 Información y especificaciones del plastazote autoadhesivo

El material seleccionado de entre los disponibles en el mercado para proteger la piel del paciente frente a los posibles roces o incomodidades del contacto directo con la férula es el plastazote. Es reconocido como el material de espuma termoplástica más citado en la literatura médica por sus características hipoalergénicas y alto confort [22].

Las propiedades de la espuma de plastazote son:

- Espuma de polietileno termodeformable a 160° - 180°.
- Peso específico 45kg/m<sup>3</sup>.
- Suministrable en colores: carne, blanco, rojo y azul.
- Inoloro.
- No tóxico.
- Altamente resistente a ungüentos y lociones.

Para este proyecto como forro de la férula se seleccionará de tipo perforado para mayor transpiración de la piel.



*Imagen 58. Plastazote perforado color carne.[23]*

# DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

## 13.1.3 Información y especificaciones del velcro

Consistente en una tira de nylon con dos piezas, macho y hembra con adhesivo base acrílico.

Sus propiedades principales son las que se muestran a continuación:

<b>Características.</b>	<b>Descripción.</b>
<b>Fuerza de adhesión.</b>	8.0 p.i.w. al aluminio. 4.0 p.i.w. al vinil.
<b>Rango de temperatura.</b>	-18°C a 135°C (0°F a 275°F) al aluminio. -18°C a 66°C (0°F a 150°F) al vinil.

*Imagen 59. Propiedades velcro. [24]*



*Imagen 60. Velcro. [25]*

Se coserá a la cincha como método de fijación y ajuste en torno a la mano y antebrazo para que el paciente la regule en función de sus necesidades.

## 13.2 Fundamentos del campo de la medicina

### 13.2.1 La muñeca

Según la RAE, la muñeca se puede definir como la parte del cuerpo humano en donde se articula la mano con el antebrazo. Se trata del punto de unión entre dichas extremidades. Es, anatómicamente hablando, uno de los sistemas musculoesqueléticos más complejos del cuerpo humano debido a sus estructuras óseas, musculares, tendinosas y ligamentosas.

#### 13.2.1.1 Anatomía de la muñeca

El complejo articular de la muñeca engloba tres articulaciones independientes:

- Articulación radiocarpiana:

Su superficie presenta dos curvas convexas: una curva anteroposterior de eje **AA'** transversal correspondiente a los movimientos de flexo-extensión y una curva transversal de eje **BB'** correspondiente a los movimientos de aducción-abducción. (Imagen 61).

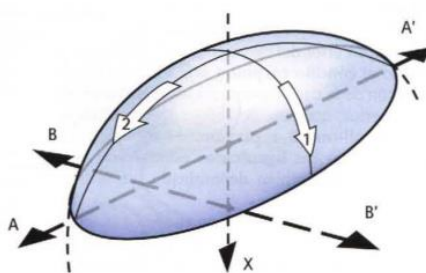


Imagen 61. Articulación condílea. [16]

Los ligamentos de esta articulación se organizan a su vez en dos sistemas:

- Ligamentos laterales: Inserción distal ubicada en el eje **AA'** de flexoextensión (Imagen 62). Estos ligamentos participan poco en el movimiento de flexoextensión.

# DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

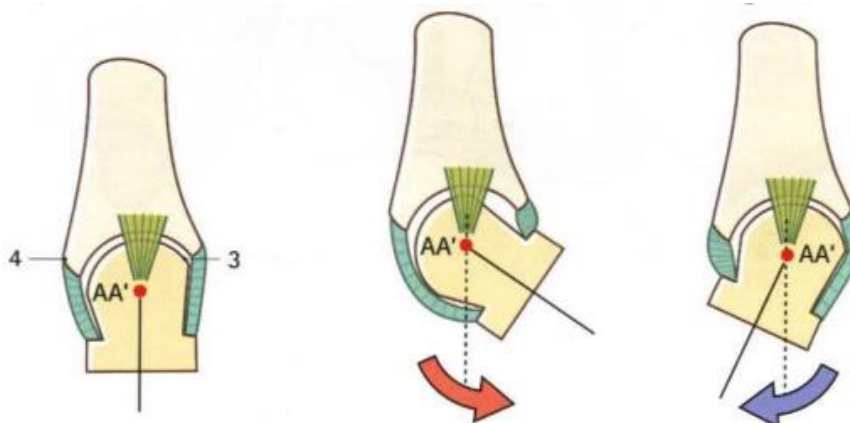


Imagen 62. Ligamentos laterales articulación radiocarpiana. [16]

- Ligamentos anterior y posterior: Fijados en el carpo, en el eje **BB'** (Imagen 63). El posterior se tensa durante la flexión mientras que el anterior lo realiza durante la extensión.

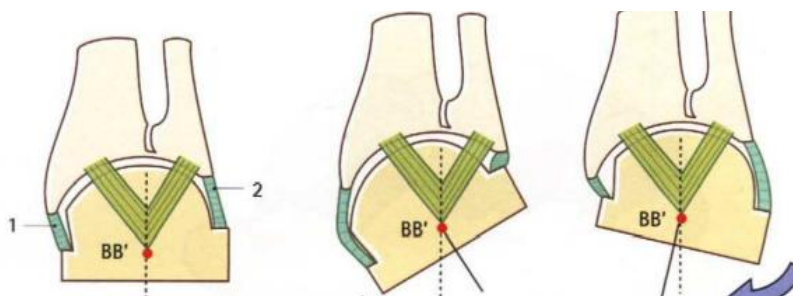


Imagen 63. Ligamentos anterior y posterior articulación radiocarpiana. [16]

- Articulación mediocarpiana:

Situada entre las dos hileras de los huesos del carpo, está constituida por (Imagen 64):

- Superficie superior: Constituida de fuera adentro por: escafoides **1** y **2**; carilla interna **3**; carilla inferior del semilunar **4** y carilla inferior del piramidal **5**.

## DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

- Superficie inferior: Constituida de fuera adentro por: carilla superior trapecio **6**; carilla superior trapezoide **7**; cabeza del hueso grande **8**; cara superior hueso ganchoso y una pequeña carilla **10**.

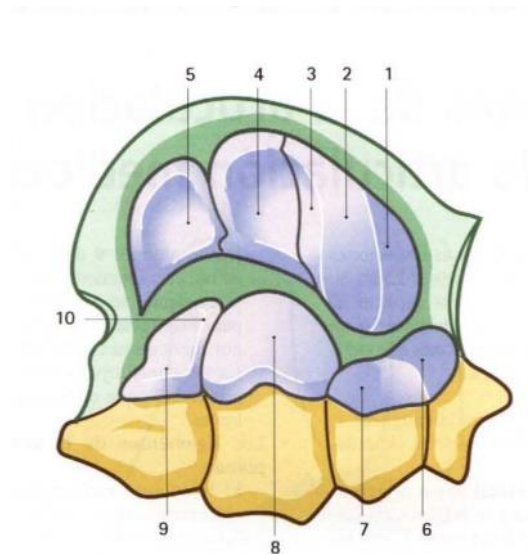


Imagen 64. Articulación mediocarpiana. [16]

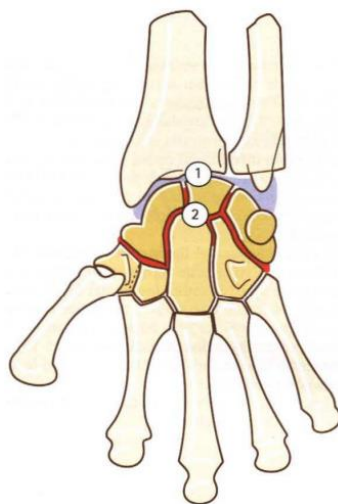


Imagen 65. Articulaciones de la muñeca: Radiocarpiana (1) y Mediocarpiana (2). [16]

### 13.2.1.2 Definición de los movimientos de la muñeca

La articulación de la muñeca posee dos grados de libertad ya que sus movimientos se ejecutan en torno a dos ejes:

- Transversal **AA'**: Pertenciente al plano frontal **T** en torno al cual se realizan los movimientos de flexo-extensión (movimiento palmar).
- Anteroposterior **BB'**: Pertenciente al plano sagital **S**, en torno al cual se realizan los movimientos de aducción-abducción (movimiento dorsal).

Si le sumamos el movimiento de rotación del antebrazo (pronosupinación), se añade un tercer grado de libertad dotando a la mano de orientación completa en todos los ángulos para la manipulación de objetos.

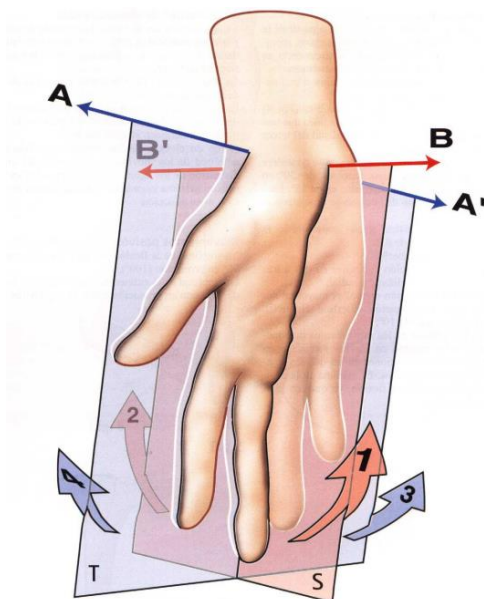


Imagen 66. Planos de la muñeca. [16]



### **13.2.1.3 Acción de los músculos motores de la muñeca**

Los músculos motores de la muñeca pueden distribuirse en cuatro grupos, definidos funcionalmente a los ejes de la muñeca [16]:

- 1<sup>er</sup> grupo (incluido en el cuadrante anterointerno): Músculo flexor cubital del carpo (FCC). Flexiona la muñeca, el quinto metacarpiano sobre el carpo y aduce la mano.
- 2<sup>o</sup> grupo (incluido en el cuadrante posterointerno): Músculo extensor cubital del carpo. Extiende la muñeca y aduce la mano
- 3<sup>er</sup> grupo (incluido en el cuadrante anteroexterno): Músculo flexor radial del carpo y palmar largo. Flexionan y abducen la muñeca.
- 4<sup>o</sup> grupo (incluido en el cuadrante posteroexterno): Músculo extensor radial largo del carpo y músculo extensor radial corto del carpo. Extienden y abducen la muñeca.

Tras lo expuesto, cabe destacar que los músculos de la muñeca tienen una acción sinérgica y estabilizadora: los músculos extensores de la muñeca son sinérgicos de los flexores de los dedos y de manera inversa, los flexores sinérgicos con los extensores de los dedos.

Al extender la muñeca los dedos se flexionan de manera automática, por lo que la extensión de estos necesitaría una acción involuntaria (a Imagen 67). En esta posición de extensión los tendones flexores de los dedos son más cortos por la posición de alineación con la muñeca por lo que su fuerza es máxima. La situación antagonista sucedería en flexión de la muñeca (b Imagen 67).

# DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

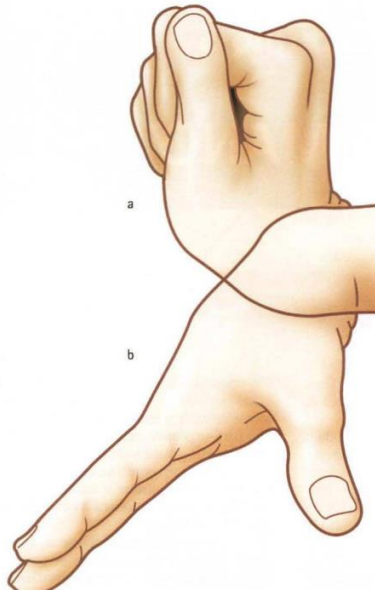


Imagen 67. Movimiento de flexo-extensión de la muñeca. [16]

## 13.2.2 La mano

### 13.2.2.1 Arquitectura de la mano

La mano cuenta con la posibilidad de adaptar su forma para coger objetos. Si se apoya sobre una superficie plana en cambio, se aplana y se expande estando en contacto directo con (Imagen 68): eminencia tenar 1, eminencia hipotenar 2, cabeza de los metacarpianos 3, y cara palmar de las falanges 4.

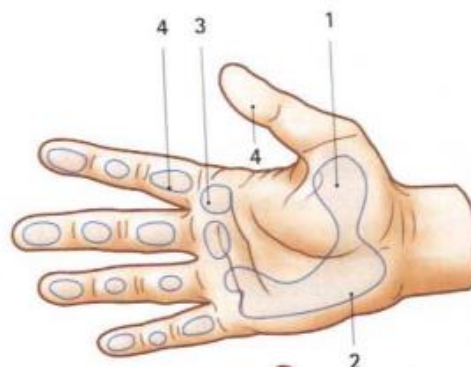


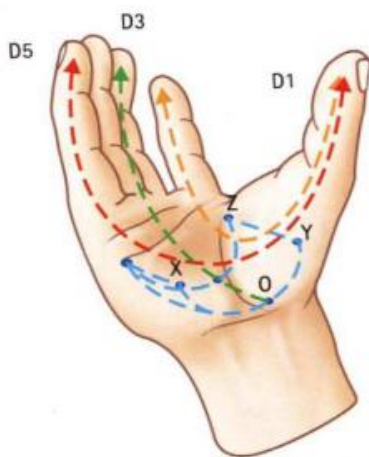
Imagen 68. Zonas de contacto de la mano con objetos en el agarre. [16]

## DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

### DOCUMENTO N°1. MEMORIA

Al agarrar un objeto voluminoso, por el contrario, se produce un ahuecamiento formando arcos en 3 direcciones:

- Sentido transversal: Arco carpiano XOY correspondiente a la concavidad del macizo carpiano. El eje longitudinal del conducto carpiano pasa por el semilunar, hueso grande y el tercer metacarpiano.
- Sentido longitudinal: Arcos metacarpofalángicos. La concavidad de estos arcos se orienta hacia delante de la palma y cualquier desequilibrio en la articulación metacarpofalángica origina una ruptura de la curva. Los arcos longitudinales más importantes son:
  - Arco del dedo corazón: axial.
  - Arco del índice.
- Sentido oblicuo: arcos en oposición del pulgar con los cuatro dedos restantes.



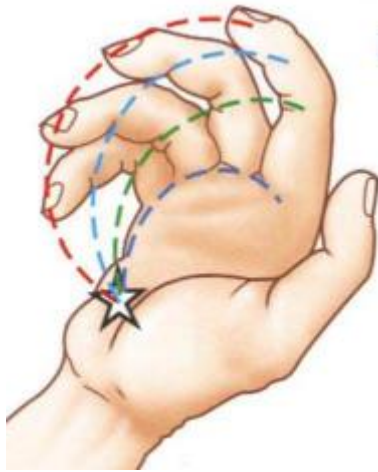
*Imagen 69. Sentidos del ahuecamiento de la mano en el agarre. [16]*

Para finalizar cabe decir que una mano normal y sana presenta una arquitectura armoniosa (Imagen 70), cuyas líneas de construcción convergen en un punto focal. Esto

## DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

es igual de útil para un pintor y dibujante como para los cirujanos, siento una referencia en la distinción entre lo normal y lo patológico.



*Imagen 70. Punto focal de la mano. [16]*

### **13.3 Toma y recopilación de datos**

El objetivo primordial en esta parte del proceso es el de facilitar al máximo tanto al paciente como al especialista el proceso de adquisición de la férula. Por este motivo, en lugar de emplear un escáner 3D que requiere conocimientos técnicos y control de softwares muy específicos, se ha optado por una toma de medidas más rudimentaria y accesible para el paciente sin tener que desplazarse para ello.

#### **13.3.1 Conceptos antropométricos**

La antropometría es concebida como “La disciplina que describe las diferencias cuantitativas de las medidas del cuerpo humano, estudia las dimensiones tomando como referencia distintas estructuras anatómicas, y sirve de herramienta en la ergonomía con objeto de adaptar el entorno a las personas” [26] Además, se basa en aspectos como la talla, peso, proporciones y formas.

La antropometría se clasifica en:

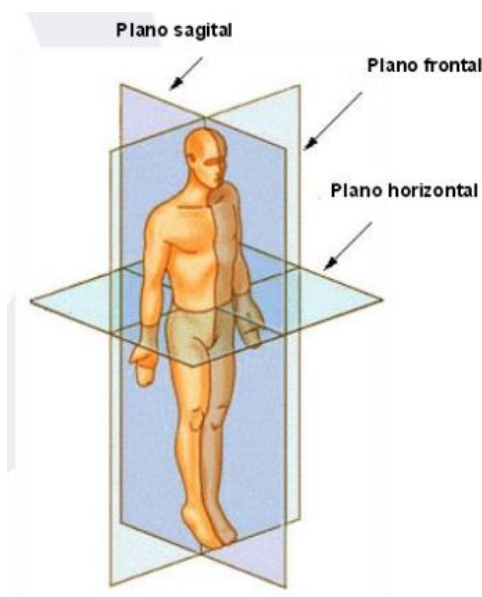
- Antropometría funcional: Ciencia que analiza las medidas corporales en movimiento pudiendo así valorar la capacidad de las articulaciones.
- Antropometría estática o estructural: Medidas tomadas en reposo, en una posición fija y determinada.

Existen 3 planos de referencia que dividen el cuerpo humano y permiten describir la ubicación y localización de las distintas partes y órganos del cuerpo. Estos planos son de gran utilidad en el estudio postural y la determinación de los ángulos articulares [27].

# DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

Estos 3 planos se cortan en el centro de gravedad:



*Imagen 71. Planos de referencia del cuerpo humano. [27]*

El plano sagital medio divide el cuerpo por la mitad en dos mitades simétricas, derecha e izquierda.

Otro plano vertical es el plano sagital que divide el cuerpo en dos mitades, anterior (o ventral) y posterior (o dorsal).

El tercer plano horizontal es perpendicular a los dos anteriores y divide el cuerpo en dos partes, superior e inferior.

## **13.3.2 Proceso de recogida de datos**

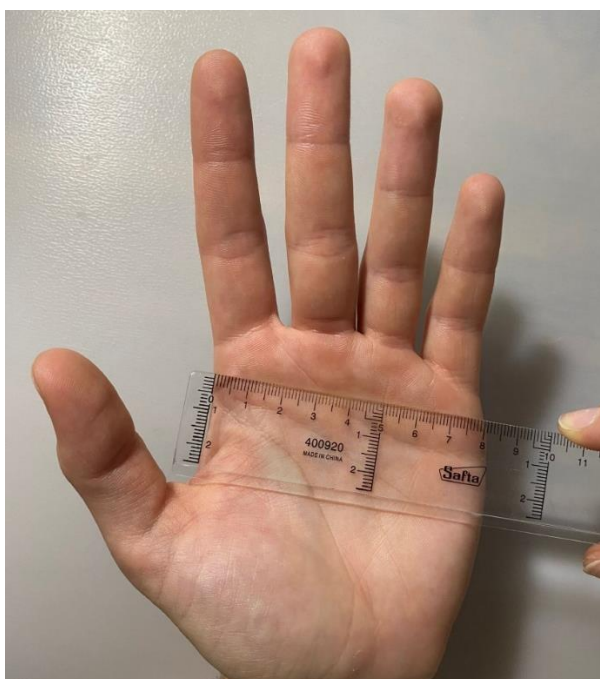
Para el estudio se han recopilado medidas de un total de 30 personas cubriendo al máximo el rango de edades laboral entre 18 y 67 años. Este proceso se divide en varias partes, las cuales irán resumidas y especificadas en una guía.

## DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

### DOCUMENTO N°1. MEMORIA

En primer lugar, se toma una foto sobre el plano frontal a la extremidad superior, con la mano y antebrazo en posición de reposo por ser este el estado en el que se encuentre mayoritariamente durante la recuperación.

A continuación, el individuo con la ayuda de una regla rígida recoge la medida de del ancho palmar, correspondiente a la línea bajo los nudillos (Línea 1 Imagen 73). Esta medida es primordial para poder calibrar las restantes sin necesidad de toma de mayor número de datos.



*Imagen 72. Toma medida anchura palmar correspondiente a la medida guía. [Fuente propia]*

El siguiente paso sería fotografiar de igual forma, pero desde el plano sagital para la obtención de espesores.

Sobre estas imágenes se crea una guía de todas las medidas que se tomarán a cada individuo para comparación de estas y buscar una correlación entre peso, altura y sexo con ellas.

# DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

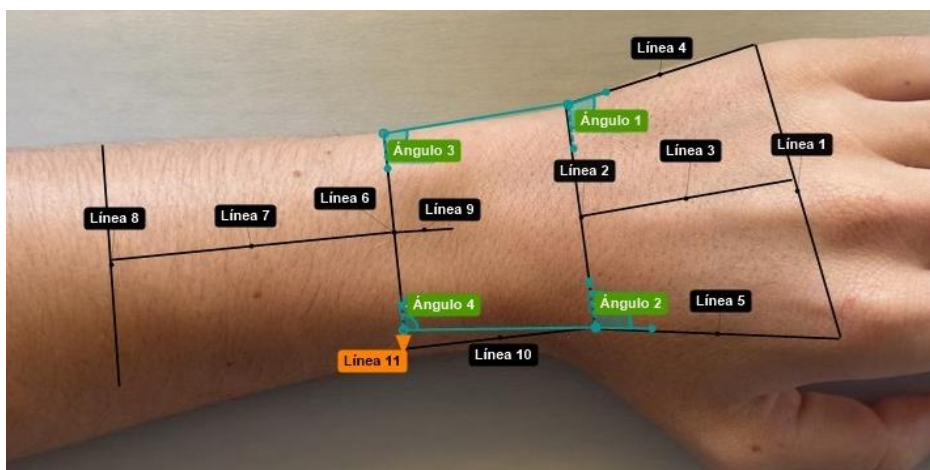


Imagen 73. Esquema medidas a tomar sobre el plano sagital. [Fuente propia]

La *Línea 1* es la medida del ancho palmar facilitada por el individuo con la que se podrán calibrar las restantes

En la siguiente tabla se muestran los valores pertenecientes a un grupo representativo de individuos:

Paciente nº	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	L4 (mm)	L5 (mm)	L6 (mm)	L7 (mm)	L8 (mm)	L9 (mm)	L10 (mm)	L11 (mm)	A1 (°)	A2 (°)	A3 (°)	A4 (°)
1	81	65	43	44	58	54	72	66	11	42	4	101	101	90	99
2	90	80	50	47	54	62	85	70	12	50	13	95	95	95	110
5	83	77	51	49	66	59	80	63	15	49	8	93	88	95	101
6	88	78	47	46	49	57	81	76	15	53	10	93	100	95	103
7	82	68	47	43	66	49	71	64	13	62	12	95	97	87	108
15	79	70	43	38	51	51	71	55	17	48	11	88	98	95	108
19	83	68	57	51	66	49	71	57	14	52	12	83	106	91	112
21	75	67	55	45	56	59	71	66	11	58	5	80	110	82	103
24	83	65	53	47	60	45	78	86	10	50	14	90	106	87	112
22	86	69	45	42	54	55	81	61	14	39	3	98	103	105	100

Tabla 6. Medidas plano sagital. [Fuente propia]

Se toman fotografías de las extremidades desde el plano frontal para la obtención de los valores correspondientes a los espesores del antebrazo y la mano:



# DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

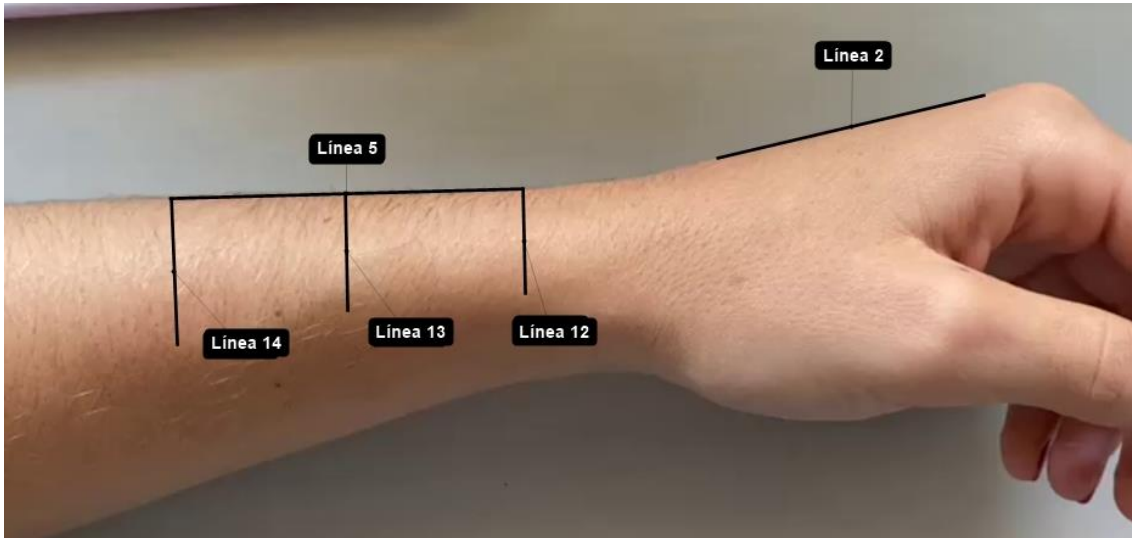


Imagen 74. Medidas plano frontal que definen el espesor del antebrazo. [Fuente propia]

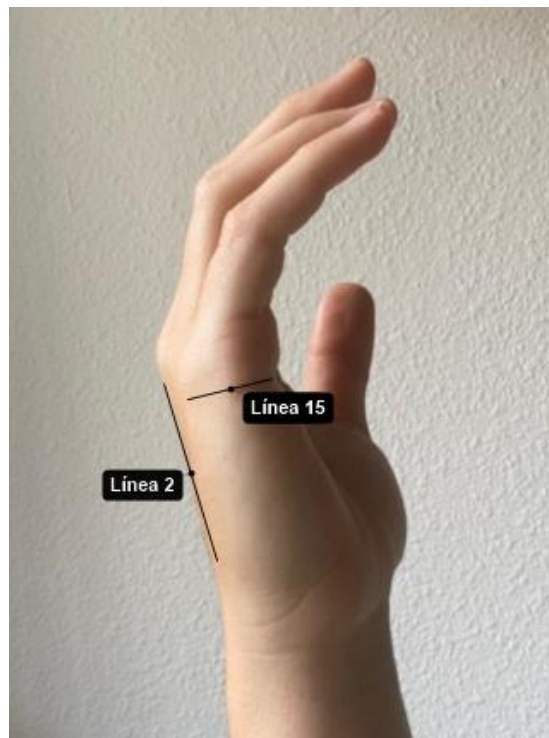


Imagen 75. Medidas del plano frontal que definen el espesor de la mano. [Fuente propia]

## DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

### DOCUMENTO N°1. MEMORIA

En la siguiente tabla se muestran los valores pertenecientes a un grupo representativo de individuos:

Individuo nº	Altura (cm)	Peso (kg)	Edad	Sexo	L12 (mm)	L13 (mm)	L14 (mm)	L15 (mm)
1	174	76	24	F	26	28	30	20
2	179	85	63	M	28	30	32	27
5	170	69	54	F	26	28	30	21
6	177	80	57	M	29	31	33	30
7	166	67	23	F	25	27	29	21
15	168	69	29	F	26	28	30	20
19	170	66	26	F	26	28	30	22
21	165	68	28	M	25	27	29	24
24	191	65	40	M	24	26	28	20
22	201	91	33	M	28	30	32	25

*Tabla 7. Medidas plano frontal. [Fuente propia]*

Por último, tras la impresión del primer prototipo se observa una necesidad de la toma de medición del ángulo que forma el dedo a rehabilitar con respecto la línea de nudillos para que el exoesqueleto esté alineado con el dedo.

## **13.4 Protocolo de rehabilitación**

### **13.4.1 Objetivo terapéutico**

El mundo se está convirtiendo en un lugar envejecido y con una esperanza de vida cada vez mayor. Es por esto por lo que los objetivos se han centrado en la mejora de la calidad de vida de personas mayores, lesionadas o que tienen algún tipo de discapacidad.

La rehabilitación es sumamente importante para una correcta productividad de las actividades cotidianas de los individuos asegurando un pleno rendimiento físico y emocional. En los últimos años se ha ido adquiriendo mayor grado de conciencia sobre su papel en la sociedad y se ha ido incluyendo en los procesos de recuperación para aumentar las probabilidades de reinserción y participación.

Estas rehabilitaciones están comprendidas por ejercicios terapéuticos basados en movimientos corporales con el objetivo de lograr un nivel de movimiento óptimo libre de síntomas. El equipo establece objetivos a corto o largo plazo para cada problema y realiza el seguimiento del proceso. Es importante no obstante animar a los pacientes con objetivos a corto plazo para mantener su interés en el proceso ya que sin su colaboración la progresión del tratamiento podría prolongarse o incluso no alcanzarse.

### **13.4.2 Fases del protocolo**

A pesar de que no existen datos bibliográficos, la observación de los terapeutas involucrados en múltiples procesos de rehabilitación de los tendones flexores de la mano concluyen que los pacientes no se sienten cómodos con una flexión de muñeca pronunciada derivando en la aparición de patologías compatibles con síndrome del túnel del carpo [28]. Sin embargo, una falta de flexión de la muñeca provocaría un estrés excesivo en la zona de sutura por lo que es importante encontrar un punto medio regulable en el diseño de la férula.

## DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

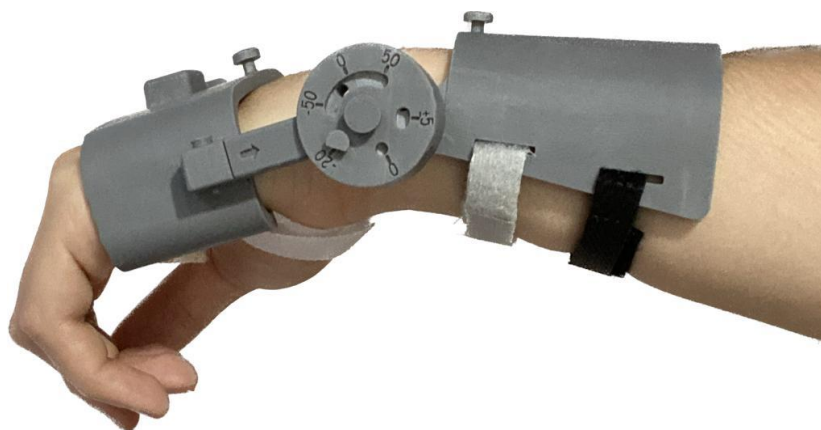
Se ha evidenciado tras el estudio de numerosos casos clínicos que la inmovilización estática puede ocasionar rigidez y adherencia articular, pero el movimiento debe realizarse de manera muy progresiva para evitar daños y desgarres en el tendón o tendones reparados.

Para evitar esto, los médicos y terapeutas recomiendan entre otros el seguimiento de un protocolo denominado Durán modificado, el más empleado hoy en día a la hora de afrontar este tipo de lesiones.

Las fases del protocolo comprenden:

### 1) Inmovilización (3 a 5 días)

Este tiempo será el mínimo necesario estimado de entre 3 a 5 días posoperatorio siempre y cuando se haya podido controlar la inflamación de la zona afectada. La articulación de la muñeca queda inmovilizada en 20° de flexión, la articulación metacarpofalángica en 50° de flexión y las articulaciones interfalángicas en extensión. Esto será posible gracias al exoesqueleto de los dedos adaptado en el acople de la palma de la mano.



*Imagen 76. Muñeca inmovilizada en 20°. [Elaboración propia]*

## DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

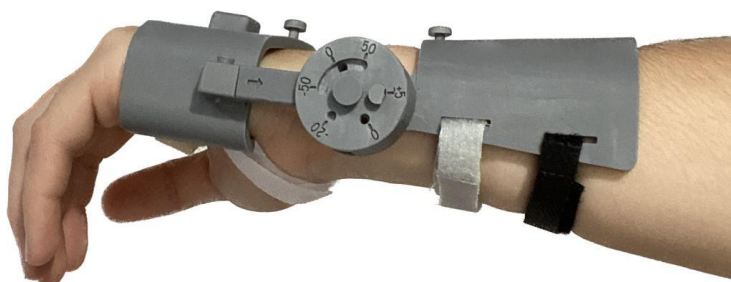
DOCUMENTO N°1. MEMORIA

### 2) Movilización pasiva (7 a 10 días)

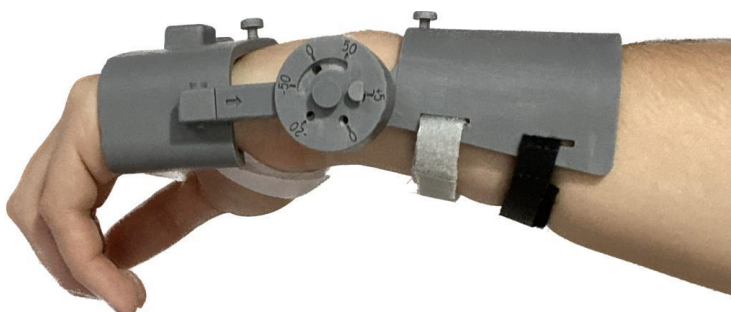
Manteniendo la muñeca en la misma posición, se realiza un movimiento de flexo-extensión pasiva (sin realizar ningún tipo de esfuerzo por el paciente) de la articulación interfalángica proximal manteniendo inmovilizada la interfalángica distal. Este movimiento pasivo se realizará gracias al exoesqueleto incorporado.

### 3) Movilización activa I (2-4 semanas)

La muñeca empieza a tener un pequeño rango de movilidad en flexo-extensión de  $10^\circ$  y el paciente comienza a realizar movimientos completos de flexión del dedo sin ningún tipo de ayuda externa. Se retira el exoesqueleto y se realizan movimientos activos de flexión de las articulaciones de los dedos.



*Imagen 77. Muñeca en  $5^\circ$  de extensión. [Fuente propia]*



*Imagen 78. Muñeca en  $5^\circ$  de flexión. [Fuente propia]*

# DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

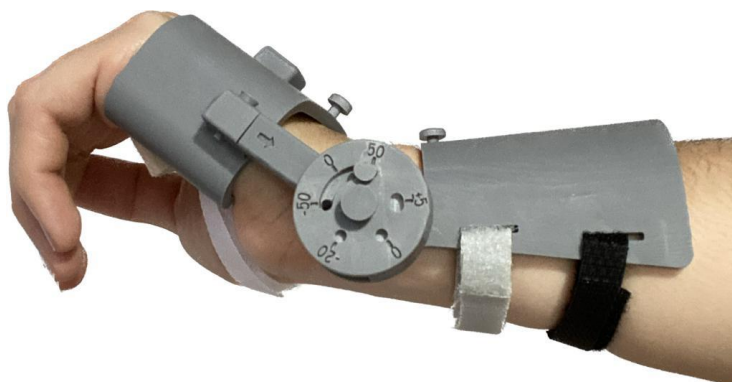
DOCUMENTO N°1. MEMORIA

## 4) Movilización activa II (5-6 semanas)

El paciente, mediante bandas elásticas que ayudan a fortalecer la fuerza en la articulación, continúa el movimiento de flexo-extensión de la muñeca, pero ya con una amplitud de rango de  $100^{\circ}$  ( $50^{\circ}$  en flexión y otros  $50^{\circ}$  en extensión) para recuperar la plena capacidad de la articulación. Los dedos inician una flexo-extensión activa siguiendo el método de bandas elásticas hasta su completa reparación.

Los ejercicios se realizarán bajo la supervisión de un experto y se ejecutarán en el domicilio del paciente mínimo tres veces al día en series de diez repeticiones. Además, se debe instruir al paciente acerca de la necesidad de realizar, al menos, una serie de ejercicios durante las horas nocturnas.

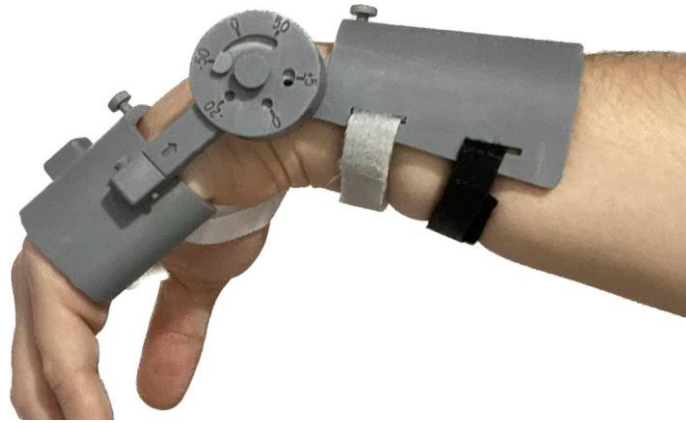
Estos ejercicios han de realizarse en ausencia del dolor, lentamente y manteniendo durante unos segundos la posición final siendo el retroceso lo más lento y fluido posible.



*Imagen 79. Muñeca en  $50^{\circ}$  de extensión. [Fuente propia]*

# DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA



*Imagen 80. Muñeca en 50° de flexión. [Fuente propia]*

## 13.4.2 Manual de las fases del protocolo

En la siguiente página se muestra un manual de fases de protocolo que irá impreso junto con la férula que se entregue al paciente para que sepa en todo momento qué pasos son los que debe tomar y cómo realizarlos.

**DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO**

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

**MANUAL DE LAS FASES DEL PROTOCOLO DE REHABILITACIÓN DE TENDONES FLEXORES**



<p style="text-align: center;">FASE 1</p>	<p>Una vez colocada la ortesis, desplace la guía con ayuda de la muñeca muy lentamente en el sentido indicado por la flecha hasta ver libre el hueco alineado con el n° 20.</p> <p>Coloque el pasador (color rojo en la imagen).</p> <p>Tiempo de la fase: de 7 a 10 días.</p>
<p style="text-align: center;">FASE 2</p>	<p>Retire el pasador de la posición anterior, desplace la muñeca en el sentido indicado por la flecha lentamente hasta ver libre el hueco alineado con el n°5.</p> <p>Coloque el pasador (color rojo en la imagen).</p> <p>Tiempo de la fase: de 2 a 4 semanas.</p>
<p style="text-align: center;">FASE 3</p>	<p>Retire el pasador de la posición anterior y evite desplazar la muñeca.</p> <p>Coloque el pasador en el hueco ubicado en la ranura entre los n° 50 (color rojo en la imagen).</p> <p>Fase bajo la supervisión de un experto.</p> <p>Realice mínimo 10 series de 3 repeticiones.</p> <p>Tiempo de la fase: de 5 a 6 semanas.</p>
<p style="text-align: center;">INMOVILIZACIÓN A 0°</p>	<p>Opción a usar en caso de que un experto lo estime conveniente durante la rehabilitación.</p> <p>Con la guía en la posición que se muestra en la imagen, coloque el pasador en el hueco libre alineado con el n° 0 de la parte inferior.</p>



### **13.5 Manual de montaje**

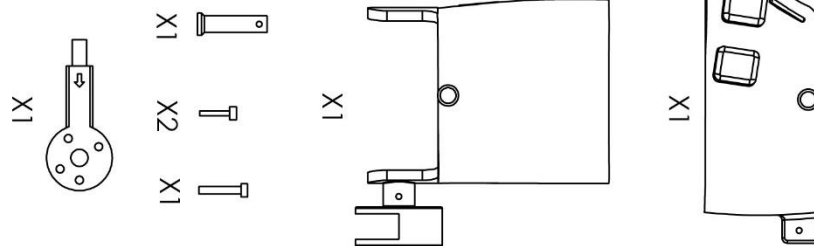
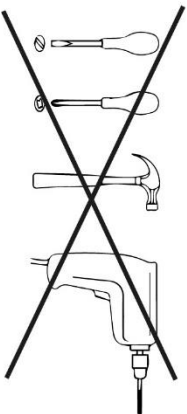
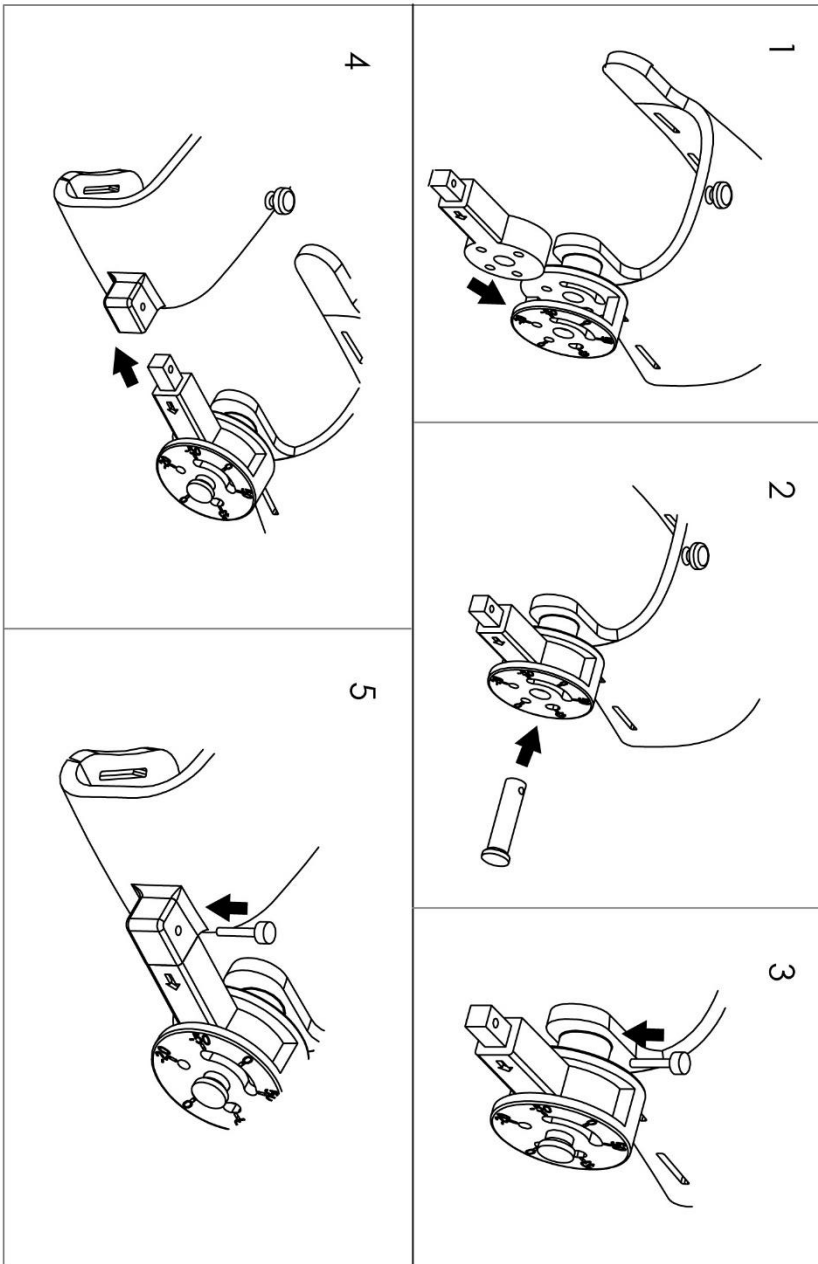
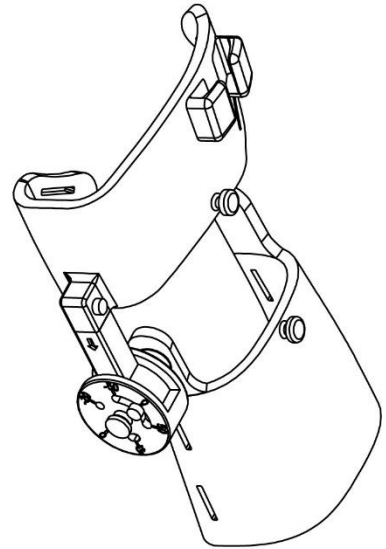
En la siguiente página se encuentra un manual explicativo de las fases de montaje de la ortesis paso a paso para que el usuario no tenga duda alguna.

**DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOSQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO**

DOCUMENTO N°1. MEMORIA



**MANUAL DE MONTAJE**



## 14. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Tema 1 Presentación (ortoprotesis). (2018, 14 octubre). Issuu.com. Recuperado en noviembre de 2022, de [https://issuu.com/firibus303/docs/tema\\_1\\_presentaci\\_n\\_ortopr\\_tesis](https://issuu.com/firibus303/docs/tema_1_presentaci_n_ortopr_tesis)
- [2] Orliman S.L.U. (2022, 22 abril). ORTESIS INMOVILIZADORA DE RODILLA DE TRES PANELES A 0°. Orliman.com. Recuperado en noviembre de 2022, de <https://www.orliman.com/producto/ortesis-inmovilizadora-de-rodilla-de-tres-paneles-a-0o/>
- [3] Ortesis de codo. (s. f.). Ortopedia Silvio. Ortopediasilvio.com. Recuperado en noviembre de 2022, de <https://www.ortopediasilvio.com/es/293-ortesis-de-codo>
- [4] Ortopedia La Milagrosa. (s. f.). Férulas 3D, Prótesis 3D. ortopediamilagrosa.es. Recuperado en noviembre de 2022, de <https://ortopedialamilagrosa.es/impresion-3d/ferulas-3d/>
- [5] 3D Printed Exoskeleton Arms. (2015, 21 junio). Cults3d.com. Recuperado en noviembre de 2022, de <https://cults3d.com/es/modelo-3d/artilugios/3d-printed-exoskeleton-arms>
- [6] Prada Marty, A., Blázquez Rodríguez, M. C., Domínguez Pérez, L., Sánchez Juan, A., Chozas García, B. & Leal de Pedro, E. (2007). Técnicas de enfermería: inmovilizaciones con férulas de yeso. *Enfermería de Urgencias*, 55. [http://www.enfermeriadeurgencias.com/ciber/PRIMERA\\_EPOCA/2007/octubre/ferulayeso.html](http://www.enfermeriadeurgencias.com/ciber/PRIMERA_EPOCA/2007/octubre/ferulayeso.html)
- [7] CDS® Wrist Brace Flexion. (2022, 20 septiembre). Albrechtgmbh.com. Recuperado en octubre de 2022, de <https://albrechtgmbh.com/en/produkt/cds-handgelenkschiene-flexion/>

## DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

- [8] Férulas dinámicas de miembro superior. (s. f.). ortopedialopez.com. Recuperado en septiembre de 2022, de <https://www.ortopedialopez.com/tienda/ferulas-de-muneca/ferulas-dinamicas-de-miembro-superior/>
- [9] EMO - Especialidades Médico Ortopédicas | especialistas en ortopedia. (s. f.). Recuperado en octubre de 2002, de <https://www.emo.es/>
- [10] Médicos, O. O. P. (s. f.). FERULA DINAMICA DE METAL PARA MANO. parálisis o lesión del nervio radial, mano caída o péndula. Tiendaortiz.mx. Recuperado en octubre de 2022, de [https://www.tiendaortiz.mx/FERULA-DINAMICA-DE-METAL-PARA-MANO-MOD-13A,127\\_49](https://www.tiendaortiz.mx/FERULA-DINAMICA-DE-METAL-PARA-MANO-MOD-13A,127_49)
- [11] PRIM Ortopedia. (2021, 20 abril). FÉRULA OPPENHEIMER PARA LA FLEXIÓN DORSAL DE LA MUÑECA - REF. C6. PrimOrtopedia. Primortopedia.es. Recuperado en octubre de 2002, de <https://www.primortopedia.es/portfolio-item/ferula-oppenheimer-para-la-flexion-dorsal-de-la-muneca-ref-c6/>
- [12] Díez, M. (2018). (1.ª ed., p. 13). Madrid: Miguel Díez. Recuperado en octubre de 2022, de [https://es.thuasne.com/sites/thuasne\\_es/files/2018-10/Thuasne\\_Ctlg\\_Ort\\_Tecnica\\_NEW.pdf](https://es.thuasne.com/sites/thuasne_es/files/2018-10/Thuasne_Ctlg_Ort_Tecnica_NEW.pdf)
- [13] CDS® Wrist Brace Extension. (2022, 20 septiembre). Albrechtgmbh.com. Recuperado en octubre de 2022, de <https://www.albrechtgmbh.com/es/ortesis-infantiles/cds-wrist-brace-extension-kopie.html>
- [14] Themes, U. (2016, 12 julio). Upper limb orthoses for the person with spinal cord injury. Musculoskeletalkey.com. Recuperado en noviembre de 2022, de <https://musculoskeletalkey.com/upper-limb-orthoses-for-the-person-with-spinal-cord-injury/>

## DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

- [15] Portnova, A. A. (2018, 22 febrero). Design of a 3D-printed, open-source wrist-driven orthosis for individuals with spinal cord injury. PLOS ONE. Journals.plos.org. Recuperado en noviembre de 2022, de <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0193106>
- [16] Kapandji, A., I. (2006). Fisiología Articular/ Articulate Psychology: Miembro Superior (6.a ed.). Medica Panamencana.
- [17] Supinador. (2019, 15 julio). Anatomía papel e caneta. Anatomia-papel-e-caneta.com. Recuperado en noviembre de 2022, de <https://anatomia-papel-e-caneta.com/musculos-do-antebraco/supinador/>
- [18] Charmant, J. (s. f.-a). *Kinovea*. Recuperado en enero de 2022, de <https://www.kinovea.org/>
- [19] Rojas P., Ledesma de Miguel J. NTP 629: Movimientos repetitivos: métodos de evaluación. Método OCRA: actualización. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. 2003.
- [20] Löbach, B. (1981). Diseño industrial: Bases para la configuración de los productos industriales. Gustavo Gili, S.A.
- [21] TR300 Ultra-High-Temp Resin Grey 1.000 g. (s. f.). 3DJake España. 3djake.es. Recuperado en diciembre de 2022, de [https://www.3djake.es/phrozen/tr300-ultra-high-temp-resin-grey?gclid=CjwKCAiAqaWdBhAvEiwAGAQtgHb4Ix5DspDP-WVQrv5B\\_FITbviv6ubktgDgtGX-n3n8jAGETZPaRoCRGYQAvD\\_BwE](https://www.3djake.es/phrozen/tr300-ultra-high-temp-resin-grey?gclid=CjwKCAiAqaWdBhAvEiwAGAQtgHb4Ix5DspDP-WVQrv5B_FITbviv6ubktgDgtGX-n3n8jAGETZPaRoCRGYQAvD_BwE)
- [22] Professional Plastics, Inc. (s. f.). LD45 Plastazote Plastazote-Zotefoams. Professionalplastics.com. Recuperado en diciembre de 2022, de <https://www.professionalplastics.com/es/ZOTEFOAML.html>

## DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

[23] *Logarsalud.* (s. f.). Recuperado en diciembre de 2022, de <https://www.logarsalud.com>

[24] Velcro coser. (2021, 2 junio). *Merceriahilodeplata.com*. Recuperado en diciembre de 2022, de <https://www.merceriahilodeplata.es/producto/velcro-coser/>

[25] Velcro coser. (2021, 2 junio). *Merceriahilodeplata.com*. Recuperado en diciembre de 2022, de <https://www.merceriahilodeplata.es/producto/velcro-coser/>

[26] Mondelo, P. R. & Upc, E. U. (2010). *Ergonomia I. Fundamentos*. Edicions Upc.

[27] Valero, A. (s.f.). *Antropometría*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo.

[28] Cantero, R. (2020). *Terapia de mano basada en el razonamiento y la práctica clínica*. Universidad Internacional de Andalucía.

**DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO**

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

## **DOCUMENTO N°2. PLANOS**



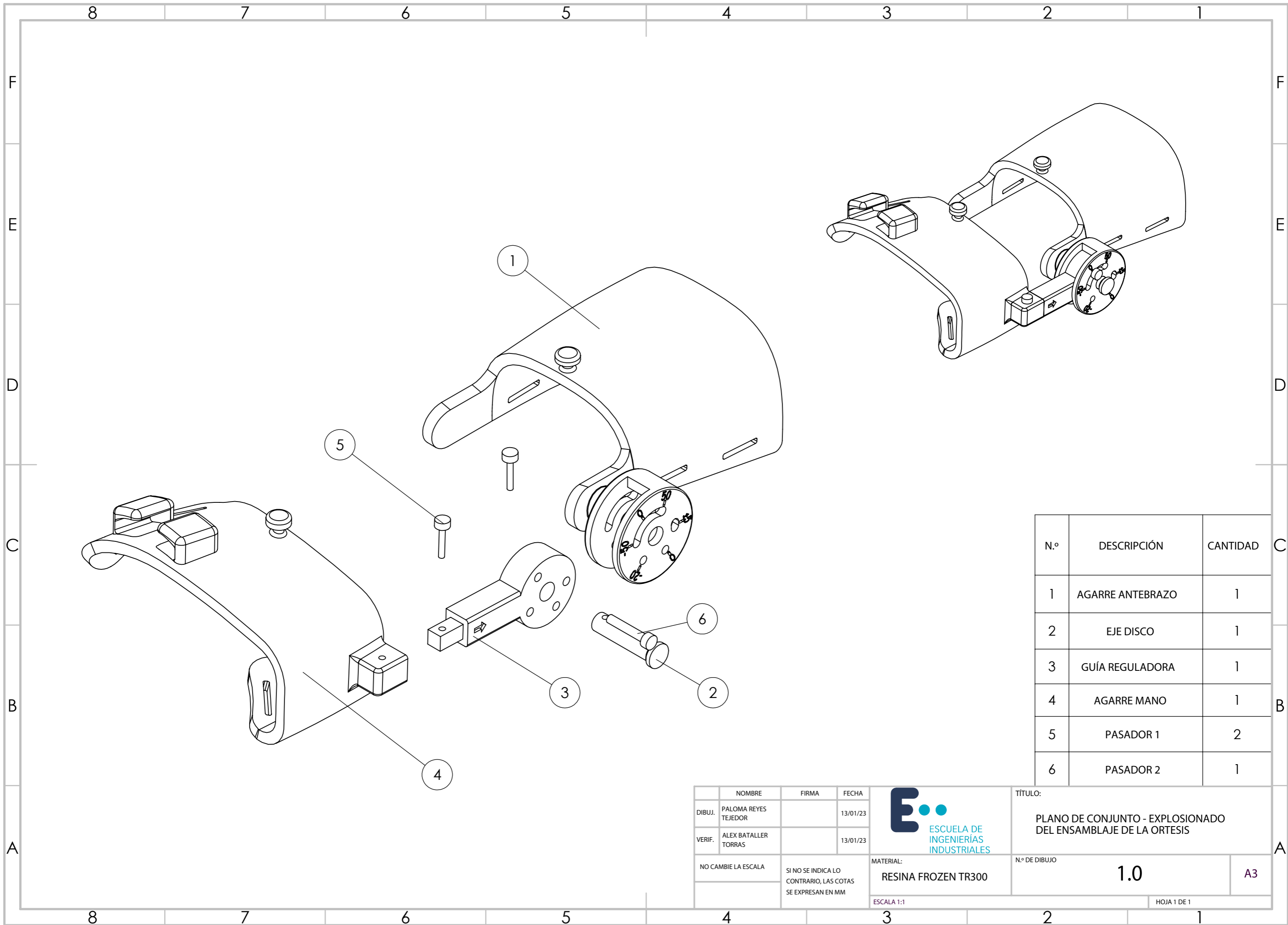


## **ÍNDICE GENERAL**

1. PLANO DE CONJUNTO
  - 1.1 Agarre antebrazo
  - 1.2 Eje disco
  - 1.3 Guía reguladora
  - 1.4 Agarre mano
  - 1.5 Pasador 1
  - 1.6 Pasador 2

**DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO**

DOCUMENTO N°1. MEMORIA



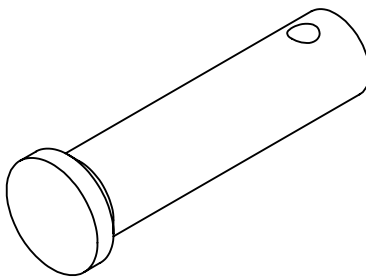
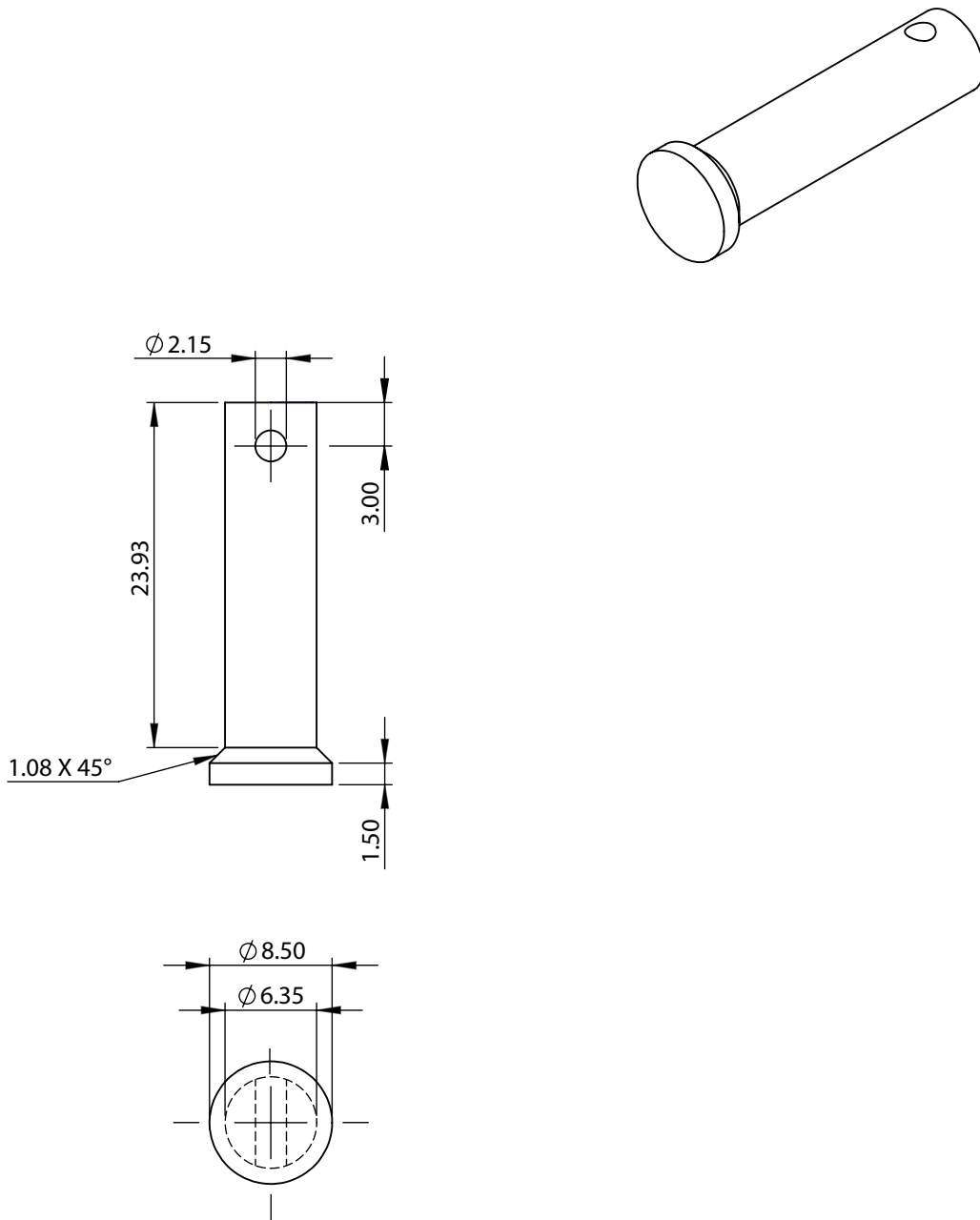
N.º	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	AGARRE ANTEBRAZO	1
2	EJE DISCO	1
3	GUÍA REGULADORA	1
4	AGARRE MANO	1
5	PASADOR 1	2
6	PASADOR 2	1

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	PALOMA REYES TEJEDOR		13/01/23
VERIF.	ALEX BATALLER TORRAS		13/01/23
	NO CAMBIE LA ESCALA	SI NO SE INDICA LO CONTRARIO, LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM	

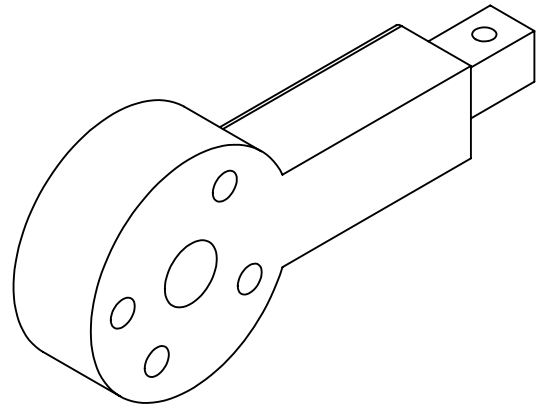
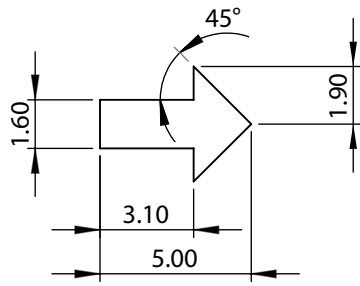


TÍTULO:	PLANO DE CONJUNTO - EXPLOSIONADO DEL ENSAMBLAJE DE LA ORTESIS	
N.º DE DIBUJO	1.0	A3
ESCALA 1:1	HOJA 1 DE 1	



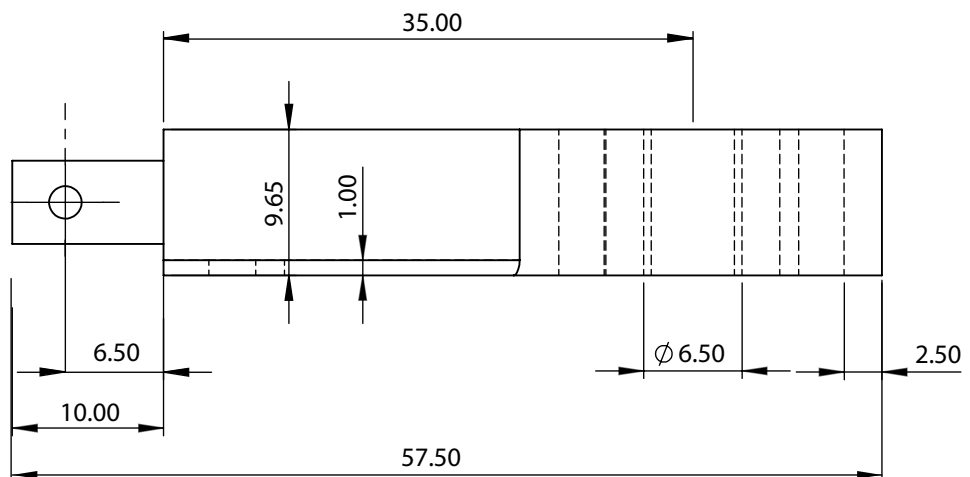
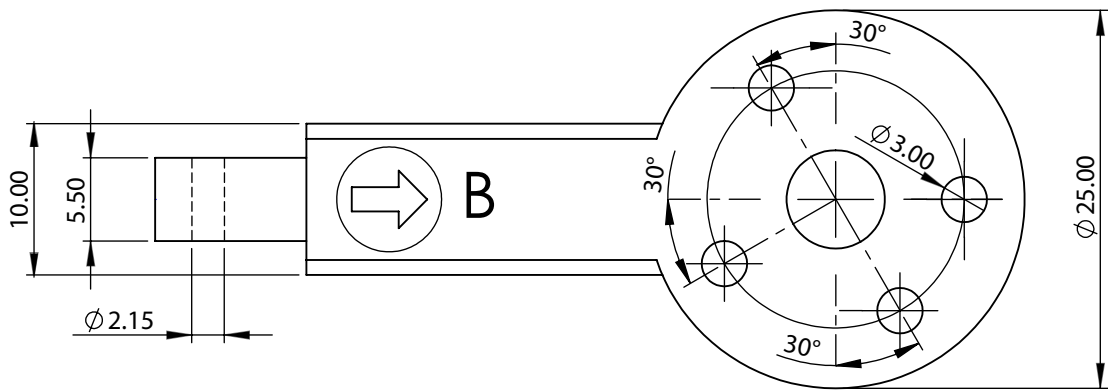


NOMBRE		FIRMA	FECHA	 <b>ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES</b>	TÍTULO:	
DIBUJ.	PALOMA REYES TEJEDOR		13/01/23		EJE DISCO	
VERIF.	ALEX BATALLER TORRAS		13/01/23	MATERIAL:		
NO CAMBIE LA ESCALA		SI NO SE INDICA LO CONTRARIO, LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		RESINA FROZEN TR300	N.º DE DIBUJO	A4
				ESCALA 2:1	1.2	HOJA 3 DE 7



## DETALLE B

ESCALA  
4:1



	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	PALOMA REYES TEJEDOR		13/01/23
VERIF.	ALEX BATALLER TORRAS		13/01/23



TÍTULO:

GUÍA REGULADORA

NO CAMBIE LA ESCALA	SI NO SE INDICA LO CONTRARIO, LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
---------------------	---

MATERIAL:  
RESINA PHROZEN TR300

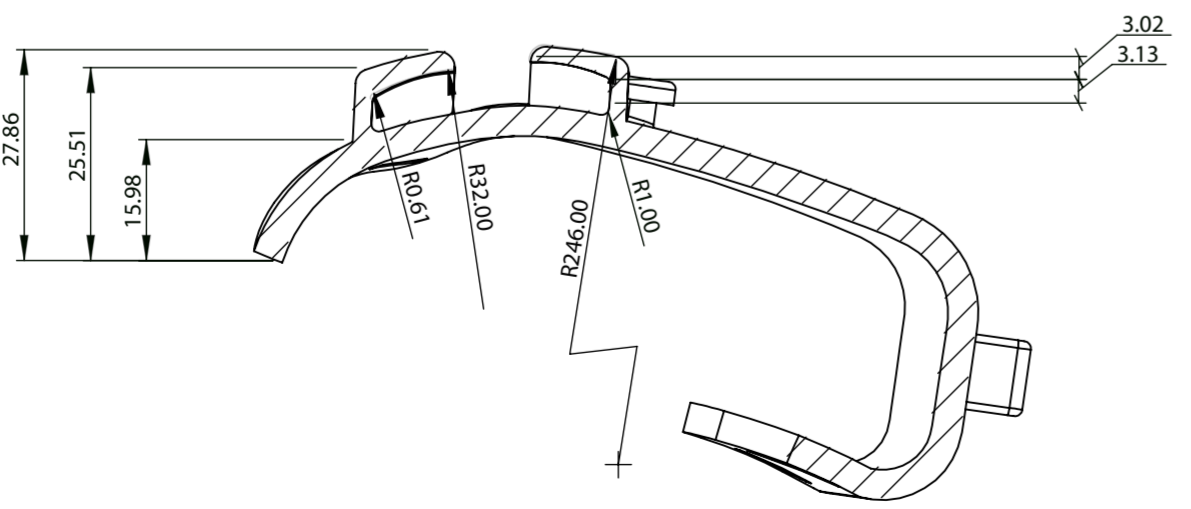
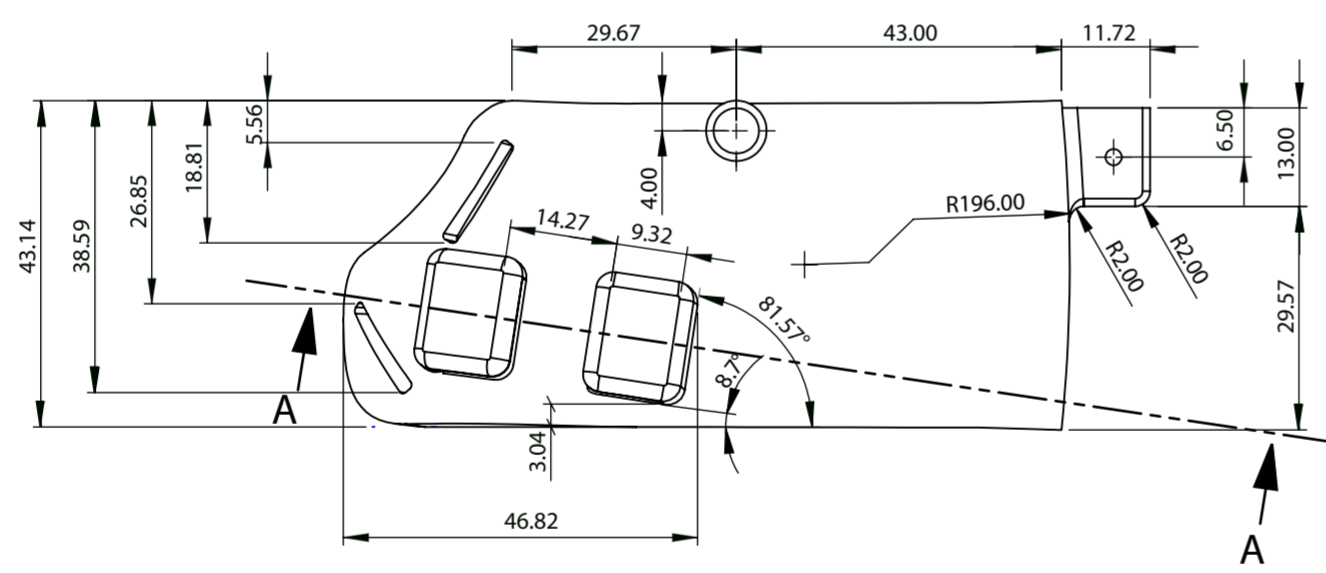
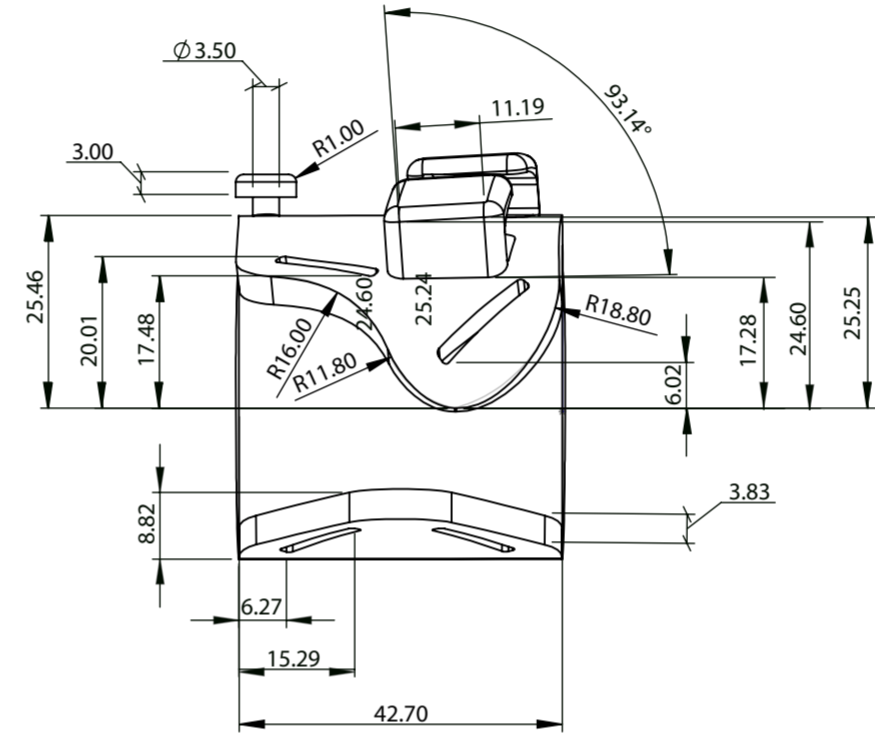
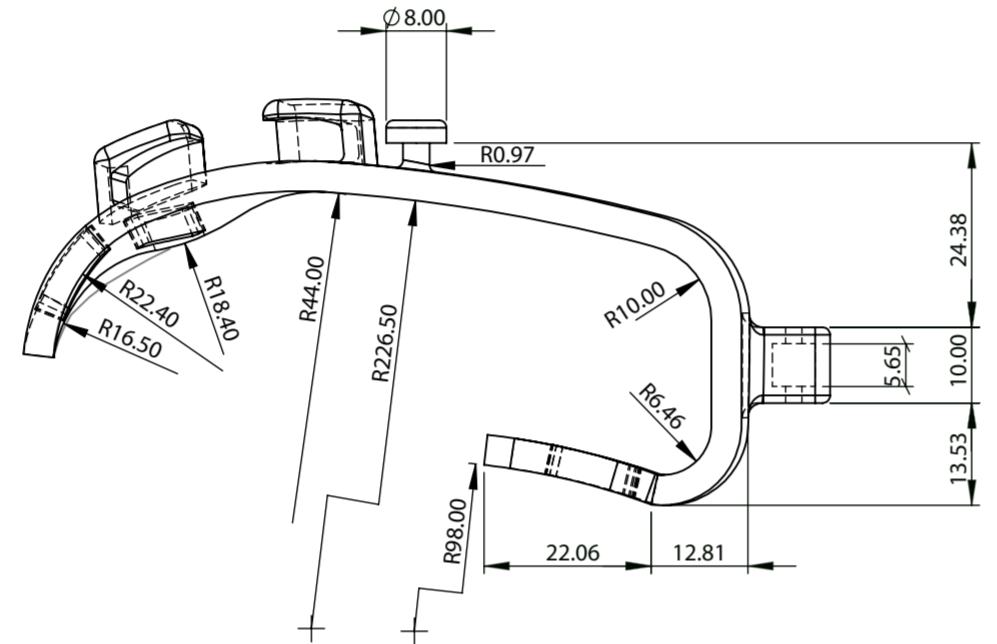
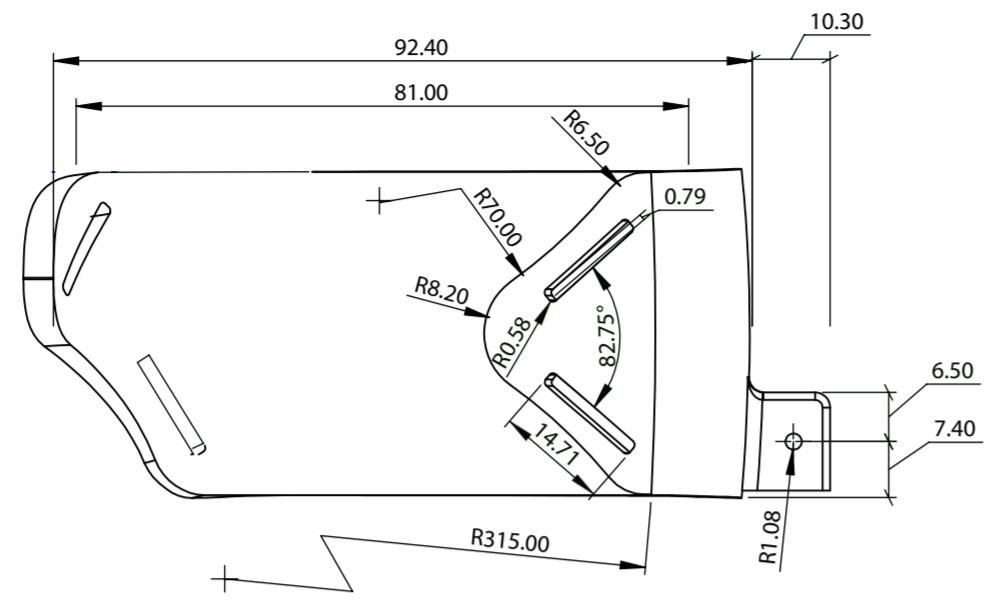
N.º DE DIBUJO

1.2

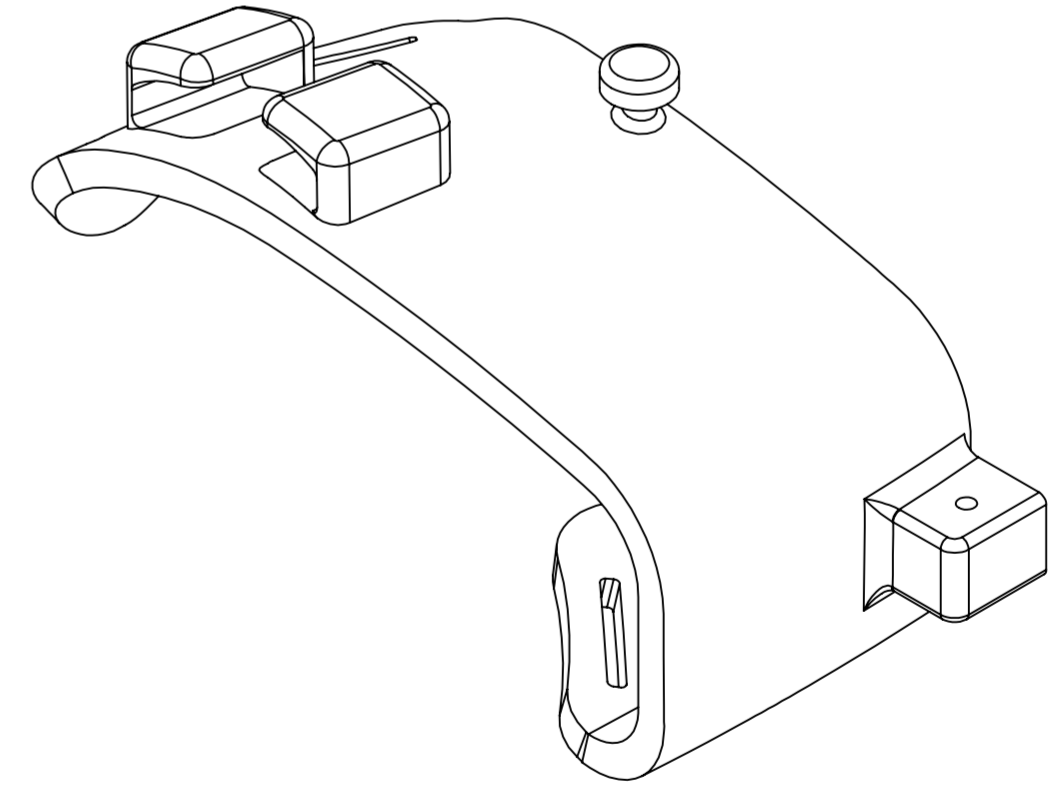
A4

ESCALA 2:1

HOJA 3 DE 7



SECCIÓN A-A



	NOMBRE	FIRMA	FECHA		TÍTULO:	
DIBUJ.	PALOMA REYES TEJEDOR		13/01/23		AGARRE MANO	
VERIF.	ALEX BATALLER TORRAS		13/01/23			
NO CAMBIE LA ESCALA		SI NO SE INDICA LO CONTRARIO, LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		MATERIAL:	1.4	A2
				RESINA FROZEN TR300		
				ESCALA: 1:1	HOJA 5 DE 7	



4 3 2 1

F

F

E

E

D

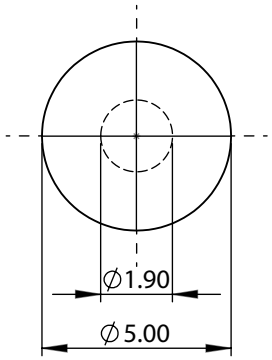
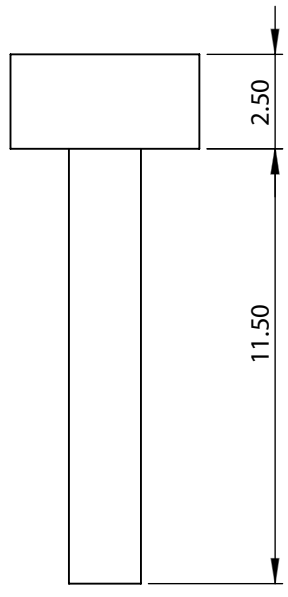
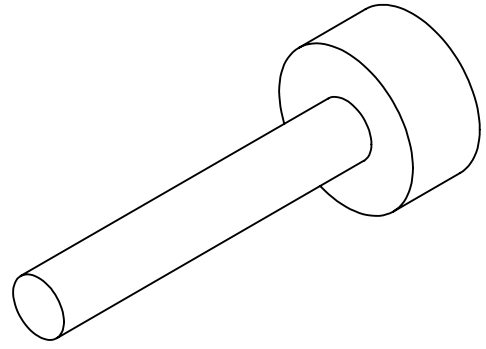
D

C

C

B

B



A

A

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	PALOMA REYES TEJEDOR		13/01/23
VERIF.	ALEX BATALLER TORRAS		13/01/23



TÍTULO:	PASADOR 1	
N.º DE DIBUJO	1.5	A4

NO CAMBIE LA ESCALA	SI NO SE INDICA LO CONTRARIO, LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
---------------------	---

MATERIAL:	RESINA PHROZEN TR300
ESCALA	5:1

HOJA	6 DE 7
------	--------

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

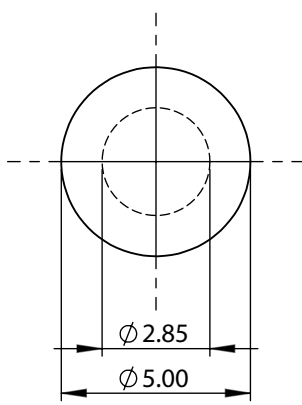
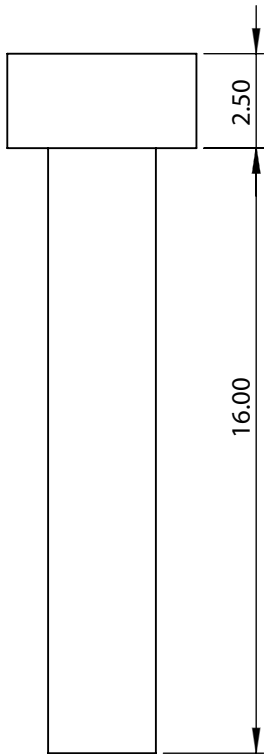
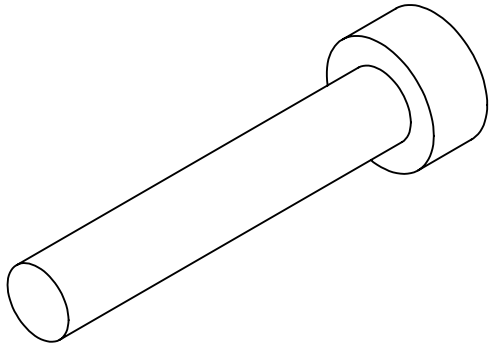
D

C

C

B

B



A

A

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	PALOMA REYES TEJEDOR		13/01/23
VERIF.	ALEX BATALLER TORRAS		13/01/23



TÍTULO:	PASADOR 2		
N.º DE DIBUJO	1.6	A4	

NO CAMBIE LA ESCALA	SI NO SE INDICA LO CONTRARIO, LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
---------------------	---

MATERIAL:	RESINA PHROZEN TR300
ESCALA	5:1

HOJA	7 DE 7
------	--------

4 3 2 1



## **DOCUMENTO N°3. PRESUPUESTO**



## 1. PRESUPUESTO GENERAL

El presupuesto proyectado será dividido en varias tablas en función del desarrollo de las actividades para la correcta fabricación de la ortesis.

En primer lugar, se crea una tabla donde se incluyen todos los aspectos relacionados con el desarrollo de la ortesis física contratando una empresa para su impresión.

Código	Medición CANT.	Medición Ud.	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	IMPORTE (€)	TOTAL (€)
1.1.1	1	Ud	AGARRE ANTEBRAZO			
	0.15	kg	<b>Material:</b> Resina TR300 de Phrozen	84.99 €/kg	12.75	
			<b>Actividad: IMPRESIÓN 3D</b>			
			<b>Maquinaria:</b> Impresora 3D: Phrozen Sonic Mini 4k			
	12	h		3 €/h	36	
			<b>Mano de obra:</b> Operario 1			
	2			6 €/h	12	
			<b>Medios auxiliares:</b> No requeridos			
			<b>Actividad: RETIRADA DE SOPORTES</b>			
			<b>Maquinaria:</b> Espátula			
1	Ud		3.50 €	3.5		
		<b>Mano de obra:</b> Operario 1				
0.2	h		6 €/h	1.2		
		<b>Medios auxiliares:</b> No requeridos				
		<b>Actividad: LIMPIEZA DE LA CARCASA</b>				
		<b>Maquinaria:</b> Alcohol				
0.05	l		3 €/l	0.15		
		Agua				
		<b>Mano de obra:</b> Operario 1				
0.2	h		12 €/h			
		<b>Medios auxiliares:</b> Paño				
1	Ud		0.50 €			

**DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOSQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO**

DOCUMENTO Nº3. PRESUPUESTO

			<p><b><u>Actividad: COSER EL VELCRO</u></b></p> <p><b>Maquinaria</b></p> <p>Aguja 1.20 € 1.2</p> <p>Hilo 2.5 €/m 0.08</p> <p><b>Mano de obra:</b></p> <p>Operario 1 12 €/h 6</p> <p><b>Medios auxiliares:</b></p> <p>No requeridos</p>		
1.1	1	Ud	<p>SUBCONJUNTO 1.1</p> <p><b>Material:</b></p> <p>Espuma plastazote autoadhesiva 1000x1000x2 17 € 5.1</p> <p><b><u>Actividad: COLOCAR EL PLASTAZOTE</u></b></p> <p><b>Maquinaria:</b></p> <p>Tijeras 6 € 6</p> <p><b>Mano de obra:</b></p> <p>Operario 1 12 €/h 3.6</p> <p><b>Medios auxiliares:</b></p> <p>No requeridos</p>		
	0.15	kg	<p>CARCASA MANO</p> <p><b>Material:</b></p> <p>Resina TR300 de Phrozen 84.99 €/kg 12.75</p> <p><b><u>Actividad: IMPRESIÓN 3D</u></b></p> <p><b>Maquinaria:</b></p> <p>Impresora 3D: Phrozen Sonic Mini 4k 3 €/h 36</p> <p><b>Mano de obra:</b></p> <p>Operario 1 6 €/h 12</p> <p><b>Medios auxiliares:</b></p> <p>No requeridos</p> <p><b><u>Actividad: RETIRADA DE SOPORTES</u></b></p> <p><b>Maquinaria:</b></p> <p>Espátula 3.50 € 3.5</p> <p><b>Mano de obra:</b></p> <p>Operario 1 6 €/h 1.2</p> <p><b>Medios auxiliares:</b></p> <p>No requeridos</p> <p><b><u>Actividad: LIMPIEZA DE LA CARCASA</u></b></p> <p><b>Maquinaria:</b></p> <p>Alcohol 3 €/l 0.15</p> <p>Agua</p> <p><b>Mano de obra:</b></p> <p>Operario 1 12 €/h</p>		
	12	h			
	2	h			
	1	Ud			
	0.2	h			
	0.05	l			
	0.2	h			

**DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOSQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO**

DOCUMENTO Nº3. PRESUPUESTO

	1	Ud	<b>Medios auxiliares:</b> Paño 0.50 €		
	1	Ud	<b>Actividad: COSER EL VELCRO</b> <b>Maquinaria:</b> Aguja 1.20 €	1.2	
	0.03	m	Hilo 2.5 €/m	0.08	
	0.5	h	<b>Mano de obra:</b> Operario 1 12 €/h	6	
			<b>Medios auxiliares:</b> No requeridos		
1.1	1	Ud	SUBCONJUNTO 1.1 <b>Material:</b> Espuma plastazote autoadhesiva 1000x1000x2 17 €	5.1	
	0.3	Ud	<b>Actividad: COLOCAR EL PLASTAZOTE</b> <b>Maquinaria:</b> Tijeras 6 €	6	
	1	Ud	<b>Mano de obra:</b> Operario 1 12 €/h	3.6	
	0.3	h	<b>Medios auxiliares:</b> No requeridos		
	1	Ud	PIEZAS AUXILIRARES <b>Material:</b> Resina TR300 de Phrozen 84.99€/kg	12.75	
	0.15	kg	<b>Actividad: IMPRESIÓN 3D</b> <b>Maquinaria:</b> Impresora 3D: Phrozen Sonic Mini 4k 3 €/h	36	
	12	h	<b>Mano de obra:</b> Operario 1 6 €/h	12	
	2		<b>Medios auxiliares:</b> No requeridos		
			<b>Actividad: RETIRADA DE SOPORTES</b> <b>Maquinaria:</b> Espátula 3.50 €	3.5	
	1	Ud	<b>Mano de obra:</b> Operario 1 6 €/h	0.6	
	0.1	h	<b>Medios auxiliares:</b> No requeridos		
			<b>Actividad: LIMPIEZA DE LA CARCASA</b> <b>Maquinaria:</b>		



**DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOSQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO**

DOCUMENTO Nº3. PRESUPUESTO

	0.05	1	Alcohol	3 €/l	0.15	
			Agua			
	0.2	h	<b>Mano de obra:</b> Operario 1	12 €/h		
	1	Ud	<b>Medios auxiliares:</b> Paño	0.50 €		
<b>TOTAL (€)</b>						<b>240.15 €</b>

Finalmente, teniendo en cuenta el coste del 21% IVA, el precio final es de:

**DOSCIENTOS NOVENTA EUROS CON CINCUENTA Y OCHO CÉNTIMOS**

En el supuesto caso de prescindir de la subcontrata y producir la ortesis a través de medios propios, prescindiendo entonces de los gastos por tiempo de impresión:

- Gastos prescindiendo del tiempo de impresión subcontratado y de los materiales y actividades relativas a la impresión:  $240.15 - 178.30 = 61.85$  €.

Tener en cuenta que en todos estos cálculos se ha prescindido de los costes de alquiler y/o mantenimiento del local de trabajo, así como de los gastos relativos a la línea de negocios, personal, seguros, etc.

Si se mantiene una máquina de impresión como la usada en el proyecto (cuyo precio es de 350€), debido a su tamaño y velocidad de impresión, el tiempo total empleado para la fabricación de una ortesis completa es de 12h por lo que solo habría posibilidad de producción de una ortesis diaria. Suponiendo que el nivel de demanda es aproximadamente de 250 días al año:

$$\text{Precio adicional} = \frac{350}{250} = 1.40\text{€}$$

En segundo lugar, se crea una tabla donde se incluyen los costes de los softwares y herramientas empleados junto con los costes del ingeniero contratado para su uso y desarrollo en caso de no disponer de ellos previamente.

**DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOSQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO**

DOCUMENTO Nº3. PRESUPUESTO

Código	Medición CANT.	Medición Ud.	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	IMPORTE (€)	TOTAL (€)
	1	Ud	<b>Software y Herramientas:</b> SolidWorks	119.79 €/ 12 meses	119.79	
	3	h	<b>Mano de obra:</b> Operario 2	13 €/h	39	
	1	Ud	<b>Software y Herramientas:</b> Adobe Illustrator	29.99 €/mes	359.88	
	5	h	<b>Mano de obra:</b> Operario 2	13 €/h	65	
	1	Ud	<b>Software y Herramientas:</b> Kinovea	0	0	
	1	h	<b>Mano de obra:</b> Operario 2	13 €/h	13	
	1	Ud	<b>Software y Herramientas:</b> CHITUBOX	0	0	
	0.2	h	<b>Mano de obra:</b> Operario 2	13 €/h	2.6	
<b>TOTAL</b>						<b>599.27 €</b>

El coste total debido a herramientas adicionales de software será: 599.27 €

Manteniendo la suposición de demanda anual: Precio adicional =  $\frac{599.27}{250} = 2.40 \text{ €}$

Sumando el conjunto se tiene: 61.85 € + 1.40 € + 2.40 € = 65.65 €

Suponiendo inicialmente un porcentaje de contribución del 30%, el costo variable debe ser el 70% por lo que el precio de venta de cara al público final será:

$$\text{Precio de venta} = \frac{65.65}{0.3} = 93.78 \text{ €}$$

Redondeando al alza para sumar el precio de la baja cantidad de resina que se emplea se obtiene entonces que el precio final de venta es de:

**NOVENTA Y CINCO EUROS**

**DISEÑO DE UNA FÉRULA DE MUÑECA IMPRESA EN 3D CON SOPORTE PARA UN EXOESQUELETO DE LOS DEDOS DE LA MANO**

DOCUMENTO N°3. PRESUPUESTO