

Instituto Tecnológico de Costa Rica  
Escuela de Ingeniería en Diseño Industrial

## **“Diseño de un dispositivo de apoyo para la muñeca, dirigido a personas con síndrome del túnel carpiano”**

Proyecto de graduación para optar por el título de bachiller  
en *Ingeniería en Diseño Industrial*

**Estudiante:**

Andrea Rojas Arcia

**Asesor académico:**

MBA. Olga Sánchez Brenes

Cartago, Noviembre, 2021

# Constancia de la defensa pública

Tecnológico de Costa Rica  
Escuela de Diseño Industrial  
Trabajo Final de Graduación\_ **Bachillerato** | II Semestre\_2021

Trabajo Final de Graduación\_Proyecto  
**Bachillerato** Ingeniería en Diseño Industrial

## Constancia de la Defensa

El Trabajo Final de Graduación presentado por el estudiante Andrea Rojas Arcia, carné 2018109211 para optar por el Título de Ingeniería en Diseño Industrial con grado académico **Bachiller** Universitario del Instituto Tecnológico de Costa Rica, titulado:

**"Diseño de un dispositivo de apoyo para la muñeca, dirigido a personas con síndrome de túnel carpiano"**

ha sido defendido el día 26 de noviembre del año 2021 ante el Tribunal Evaluador y su Profesor Asesor.

OLGA EUGENIA SANCHEZ BRENES (FIRMA)  
PERSONA FISICA, CPF-03-0267-0407.  
Fecha declarada: 26/11/2021 09:59:09 AM  
Esta representación visual no es fuente de confianza. Valide siempre la firma.

MBA. Olga Sánchez Brenes  
Profesor Asesor

MARTA SAENZ MUÑOZ (FIRMA)  
PERSONA FISICA, CPF-01-0974-0866.  
Fecha declarada: 26/11/2021 11:16:28 AM  
Esta representación visual no es fuente de confianza. Valide siempre la firma.

M. Eng. Marta Saénz Muñoz  
Tribunal Evaluador 1



Firmado digitalmente por JOSE ANTONIO BRENES CATALAN (FIRMA)  
Ubicación: calles 11 y 11a, avenida 18, Bo. Izatú Frente al TEC, Cartago, Central Oriental  
Fecha: 2021.11.26 15:44:18 -06'00'

M.Sc. José Brenes Catalán  
Tribunal Evaluador 2

26 noviembre, 2021

# Resumen

Este proyecto está basado en el desarrollo de un dispositivo de apoyo para la muñeca, enfocado en los principios del diseño a la medida. El mismo, posee el propósito de ajustarse a la anatomía de los usuarios, con el fin de brindar una compresión y estabilidad adecuada. Permitiendo así, minimizar los síntomas generados por el Síndrome del Túnel Carpiano.

Las órtesis utilizadas como tratamiento conservador que se distribuyen en el país actualmente, no se ajustan a las necesidades anatómicas de los pacientes. Esto genera que el padecimiento se vaya agravando de una manera progresiva, limitando a las personas de realizar ciertas actividades cotidianas, debido a las molestias que este genera.

Debido a esto, a lo largo de este proyecto se desarrolla una alternativa de tratamiento conservador, que sea adaptable y se adecúe a las necesidades de todos los diferentes usuarios. Asimismo, durante el proceso de diseño, es importante realizar la validación del producto desarrollado por medio de pruebas con usuarios reales. Esto pretende comprobar si la solución propuesta para atacar este problema tan común, cumple con los requisitos del proyecto o no. Brindando finalmente, una solución acertada, la cual facilite a los usuarios un diseño personalizado que les permita sentirse cómodos y seguros, durante toda su jornada.

# Palabras clave

Ergonomía, Diseño a la medida, Dispositivo de apoyo, Síndrome del túnel Carpiano, Órtesis, Tratamiento Conservador, Diseño Industrial.

# Abstract

This project is based on the development of a wrist support device, focused on the principles of custom-made design. It has the purpose of adjusting to the anatomy of the users, in order to provide adequate compression and stability. Allowing in this way, to minimize the symptoms generated by Carpal Tunnel Syndrome.

The splints used as conservative treatment which are distributed in the country currently, do not fit the anatomical needs of patients. the condition to worsen in a progressive way, limiting people to perform certain daily activities, as a consequence of the discomfort that this generates.

Therefore, throughout this project a conservative treatment alternative is developed, which can be adaptable and adapts to the needs of all different users. Also, during the design process, it is important to perform the validation of the developed product through tests with potential users. This aims to check whether the proposed solution to attack this common problem meets the requirements of the project or not. Finally, providing a successful solution, which gives users a personalized design that allows them to feel comfortable and safe daily.

# Keywords

Ergonomics, Custom-made Design, Support Device, Carpal Tunnel Syndrome, Splints, Conservative Treatment, Industrial Design.

# Derechos de autor

Atribución-NoComercial-  
SinDerivadas 4.0 Internacional



# Tabla de contenidos

Constancia de la defensa pública	1
Resumen	2
Derechos de autor	3
Tabla de contenidos	4
índice de tablas	8
Índice de figuras	9
<b>01 Introducción</b>	<b>13</b>
<b>02 Definición del problema</b>	<b>16</b>
Problema central	17
Árbol de problemas	18
Diseño a la medida	19
<b>03 Objetivos</b>	<b>20</b>
<b>04 Antecedentes</b>	<b>22</b>
<b>05 Diagnóstico de la situación</b>	<b>24</b>
Referenciales	26
Público meta	27
<b>06 Marco teórico</b>	<b>28</b>
Síndrome del Túnel Carpiano	29
Principales actividades que generan el STC	30
Influencia del COVID-19 y la tecnología	31

# Tabla de contenidos

<b>07 Metodología</b>	<b>33</b>
<b>08 Desarrollo</b>	<b>38</b>
<i>08.1 Contextualización</i>	39
Análisis de lo existente	40
Mínimos comunes	47
Entrevistas a expertos	49
Entrevistas a posibles usuarios	50
Caracterización de usuarios	51
Requerimientos de diseño	53
Relación directa entre problemas y requerimientos	54
<i>08.2 Definición del producto</i>	55
Análisis funcional	56
Funcionamiento	57
Análisis de sistemas y subsistemas	58
Principales zonas de apoyo en la mano	59
Distribución de densidad en las zonas de apoyo	60
Análisis tecnológico	61
Análisis ergonómico	64
<i>08.3 Concepto de diseño</i>	67
Análisis perceptual	69
<b>09 Alternativas de diseño</b>	<b>71</b>
<i>09.1 Ideación</i>	72
Exploración de ideas	73
Verificación	75
Retículas	76
Sistemas de cierre	78

# Tabla de contenidos

<i>09.2 Propuestas de diseño</i>	83
Selección de la propuesta	86
<i>09.3 Evolución de la propuesta</i>	87
Exploración de la propuesta de diseño	88
Resultados del primer prototipo	89
Exploración con materiales flexibles	90
Resultados del segundo prototipo	91
Toma de decisiones	92
Adaptación al material	93
<b>10 Propuesta y prototipo final</b>	<b>94</b>
Propuesta de diseño	95
Sistemas	96
<i>10.1 Propiedades</i>	99
Simulaciones	101
<i>10.2 Prototipo final</i>	105
Estructura del dispositivo	106
<i>10.3 Validación de la propuesta</i>	108
Pruebas con usuarios reales	109
Resultados	110
<i>10.4 Gradiente de mejora</i>	111
Valor agregado	114
<i>10.5 Manual de uso</i>	115
<i>10.6 Detalles del diseño</i>	117

# Tabla de contenidos

<b>11. Proceso de manufactura</b>	<b>122</b>
<b>12. Costos de fabricación</b>	<b>124</b>
<b>13. Conclusiones</b>	<b>126</b>
<b>14. Recomendaciones</b>	<b>128</b>
<b>15. Cronograma</b>	<b>131</b>
<b>16. Bibliografía</b>	<b>133</b>
<b>17. Anexos</b>	<b>137</b>

# Índice de tablas

Tabla. I. Tabla de mínimos comunes.	47
Tabla. II. Requerimientos de diseño.	53
Tabla. III. Medidas antropométricas de la población colombiana [27].	64
Tabla. IV. Matriz morfológica.	73
Tabla. V. Propiedades físicas del dispositivo.	100

# Índice de figuras

Fig. 1. Síndrome del túnel carpiano. [2]	14
Fig. 2. Representación del nervio mediano. [2]	15
Fig. 3. Árbol de problemas.	18
Fig. 4. Diseño a la medida, empresa Fixs. [5]	19
Fig. 5. Logotipo de la empresa Fixs. [5]	23
Fig. 6. Gráfico de incidencia del STC en la población costarricense.	25
Fig. 7. Muñequera Vital Plus, control de movimiento [9].	26
Fig. 8. Muñequera Genesaret [10].	26
Fig. 9. Órtesis Genesaret [11].	26
Fig.10. Muñequera Chupis [12].	26
Fig.11. Muñequera ADN Tienda [13].	26
Fig.12. Férula de palma, Vital Plus [14].	26
Fig. 13. Incidencia del nervio mediano.	29
Fig. 14. Tareas que pueden desencadenar el STC.	30
Fig. 15. Proceso de Design thinking.	34
Fig. 16. Diagrama de problemas y requerimientos.	54
Fig. 17. Árbol de funciones y subfunciones.	56
Fig. 18. Árbol de sistemas y subsistemas.	58
Fig. 19. Zonas de la mano que requieren soporte.	59
Fig. 20. Distribución de densidades.	60
Fig. 21. Proceso de impresión 3D [22].	61

# Índice de figuras

Fig. 22. Material PVC [23].	61
Fig. 23. Material Nylon Poliamida [24].	62
Fig. 24. Material Polipropileno [25].	62
Fig. 25. Poliuretano termoplástico [26].	63
Fig. 26. Tipos de posiciones de la mano [28].	64
Fig. 27. Tipos de manos.	65
Fig. 28. Moodboard visual.	66
Fig. 29. Posibles escenarios de uso del producto.	69
Fig. 30. Primera posible combinación.	74
Fig. 31. Segunda posible combinación.	74
Fig. 32. Tercera posible combinación.	75
Fig. 33. Diferentes tipos de domos triangulados [32].	77
Fig. 34. Funcionamiento del sistema Boa [33].	79
Fig. 35. Pasos de uso del sistema Boa.	79
Fig. 36. Sistema de cierre elástico Lock Laces [34].	80
Fig. 37. Pasos de uso del sistema Lock Laces.	80
Fig. 38. Sistema de cierre por bandas elásticas [ 35].	81
Fig. 39. Pasos de uso del sistema de bandas elásticas.	81
Fig. 40. Cierre superior análisis biomecánico.	82
Fig. 41. Cierre lateral análisis biomecánico.	82
Fig. 42. Prototipo y renders de la primera propuesta de diseño.	84

# Índice de figuras

Fig. 43. Prototipo . renders de la segunda propuesta de diseño.	84
Fig. 44. Prototipo . renders de la tercera propuesta de diseño.	85
Fig. 45. Prototipo . renders de la cuarta propuesta de diseño.	85
Fig. 46. Alternativa de dos bandas flexibles.	86
Fig. 47. Alternativa de una bandas flexibles.	86
Fig. 48. Prototipo de Impresión 3D de las partes rígidas.	88
Fig. 49. Prueba mano derecha del primer prototipo impreso en 3D.	89
Fig. 50. Prueba mano izquierda del primer prototipo impreso en 3D.	89
Fig. 51. Prototipo de Impresión 3D de las partes rígidas en FLEX.	90
Fig. 52. Prueba del segundo prototipo impreso en 3D.	91
Fig. 53. Primera alternativa estructural adaptada al material flexible.	93
Fig. 54. Segunda alternativa estructural adaptada al material flexible.	93
Fig. 55. Tercera alternativa estructural adaptada al material flexible.	93
Fig. 56. Dispositivo de apoyo para tratamiento conservador del STC.	95
Fig. 57. Nervaduras del dispositivo de apoyo.	95
Fig. 58. Sistema de soporte del dispositivo de apoyo.	96
Fig. 59. Sistema de seguridad del dispositivo de apoyo.	97
Fig. 60. Sistema de protección del dispositivo de apoyo.	98
Fig. 61. Análisis de deslizamiento estático.	101
Fig. 62. Análisis de deformación por desplazamiento.	102
Fig. 63. Análisis estático de tensión nodal .	103

# Índice de figuras

Fig. 64. Deformación unitaria estática.	104
Fig. 65. Modelo funcional.	106
Fig. 66. Estructura del modelo funcional.	107
Fig. 67. Validación de la propuesta.	109
Fig. 68. Gradiente de mejora.	112
Fig. 69. Gradiente de mejora de los cierres.	113
Fig. 70. Valor agregado de la propuesta.	114
Fig. 71. Manual de uso.	116
Fig. 72. Proceso de manufactura.	123

# **01.**

# **Introducción**

Las lesiones de los nervios de la muñeca como el síndrome del túnel carpiano son un problema bastante común en la actualidad debido a la modificación que han sufrido los distintos puestos de trabajo a través de las últimas décadas, ya que estos generan movimientos pequeños y repetitivos. Sin embargo, a pesar de esto se siguen utilizando procesos y productos tradicionales como tratamiento conservador del mismo (la mayoría por medio de métodos manuales), tales como yesos, inmovilizadores de tela, polipropileno, entre otros.

El síndrome del túnel carpiano representa el 60% de las enfermedades ocupacionales en todo el mundo, según el Centro de Control y Prevención de Enfermedades de Atlanta (CDC, por sus siglas en inglés) de Estados Unidos de América y su Departamento de Estadísticas Laborales [1]. Del mismo modo, este síndrome es una dolencia provocada por la inflamación y la presión en el interior del túnel formado por el carpo y el ligamento carpiano transverso en la muñeca, donde se encuentran diversos tendones y el nervio mediano. Es una neuropatía periférica focal muy común, frecuente principalmente en mujeres entre 40 y 60 años, y relacionado con la ocupación.

Asimismo, la compresión del nervio puede deberse a diversos factores tales como tenosinovitis, luxación articular del semilunar, fracturas viciosamente consolidadas (Colles), esguinces o artritis, uso continuo de la muñeca en flexión mucho tiempo.



Fig.1. Síndrome del túnel carpiano. [2]

Otros factores causales pueden ser Artritis Reumatoidea, diabetes, estrés laboral y el uso repetido de herramientas manuales de vibración como por ejemplo en la construcción, entre otros [1]. Clínicamente el síndrome de túnel carpiano se manifiesta con dolor, adormecimiento de los dedos, cosquilleo, debilidad y ardor en manos y dedos, con mayor frecuencia durante la noche.

Por otra parte, el mismo puede generar en los pacientes una serie de problemas y síntomas, los cuales son muy frecuentes. Dentro de estos se destaca la dificultad para cerrar la mano en un puño, problemas para sostener objetos muy pequeños u objetos muy pesados, adormecimiento general o sensación de hormigueo en toda la mano, ardor en los dedos (pulgares, medio e índice), hinchazón en los dedos (este síntoma puede ser imperceptible), sensación de quemazón que se puede extender al hombro [2].

El tratamiento para este tipo de lesión se inicia con la aplicación de férulas durante la noche, antiinflamatorios para aliviar el dolor y entumecimiento. También puede usarse una inyección de corticoides para reducir la inflamación. Es imprescindible que la muñeca permanezca en una posición neutra (articulación de la muñeca recta y no hacia abajo, o ligeramente flexionada hacia arriba).

Se ha confirmado que los pacientes con STC tienen una presión intracanal de reposo elevada y que las férulas en flexión y extensión utilizadas frecuentemente incrementan la presión de tres a seis veces más que la encontrada en posición neutra. La inmovilización de la muñeca en posición neutra maximiza el espacio disponible del túnel del carpo, minimiza la compresión del nervio mediano y proporciona mayor alivio sintomático que las férulas en flexión o extensión, ya que le da espacio para reducir su tamaño [3].



Fig.2. Representación del nervio mediano. [2]

# **02.**

## **Definición del problema**

El síndrome de túnel carpiano es una lesión de los nervios ubicados en la zona de la muñeca que afecta a una gran parte de la población actualmente, gracias a los distintos puestos de trabajo que desempeñan las personas. Del mismo modo, este ha podido ir en aumento gracias a la emergencia mundial provocada por el COVID-19, ya que las personas se ven obligadas a trabajar desde sus casas con condiciones inadecuadas.

De igual manera, las órtesis o férulas que se distribuyen actualmente en nuestro país para tratar este síndrome no son lo más eficiente ya que pueden ser incómodas y generan irritación en la piel de los pacientes. De esta forma, estos tipos de tratamiento conservador generalmente aumentan la presión en el túnel del carpo y pueden provocar que el dolor se vea incrementado o que el padecimiento no mejore como debe [5].

Es importante atacar esta problemática desde el diseño industrial ya que no solo se necesita una solución médica para este padecimiento, sino que se debe buscar una alternativa que sea accesible para los usuarios meta y que, a su vez les brinde la comodidad y seguridad que requieren de acuerdo con sus necesidades a la hora de tratar este síndrome tan común en la actualidad. El diseño de esta férula debe estar enfocado en el bienestar y la confianza de las personas que la puedan llegar a utilizar.

Para esto, se pretende desarrollar un dispositivo médico para el tratamiento conservador del síndrome del túnel carpiano, que se adapte a las necesidades anatómicas de los distintos usuarios y que a su vez ayude a reducir los efectos provocados por el síndrome, mientras realizan actividades cotidianas o laborales.

## Problema central

De esta manera, se logró determinar el problema central que poseen las distintas órtesis o férulas que se distribuyen en el mercado costarricense, el mismo corresponde a la ***"Poca adaptabilidad en férulas existentes en el mercado nacional para STC, a las características anatómicas de los usuarios"***.

Este, engloba una serie de problemas secundarios que afectan en gran escala a los distintos usuarios. Lo anterior se puede evidenciar en el árbol de problemas que se muestra a continuación:

# Árbol de problemas

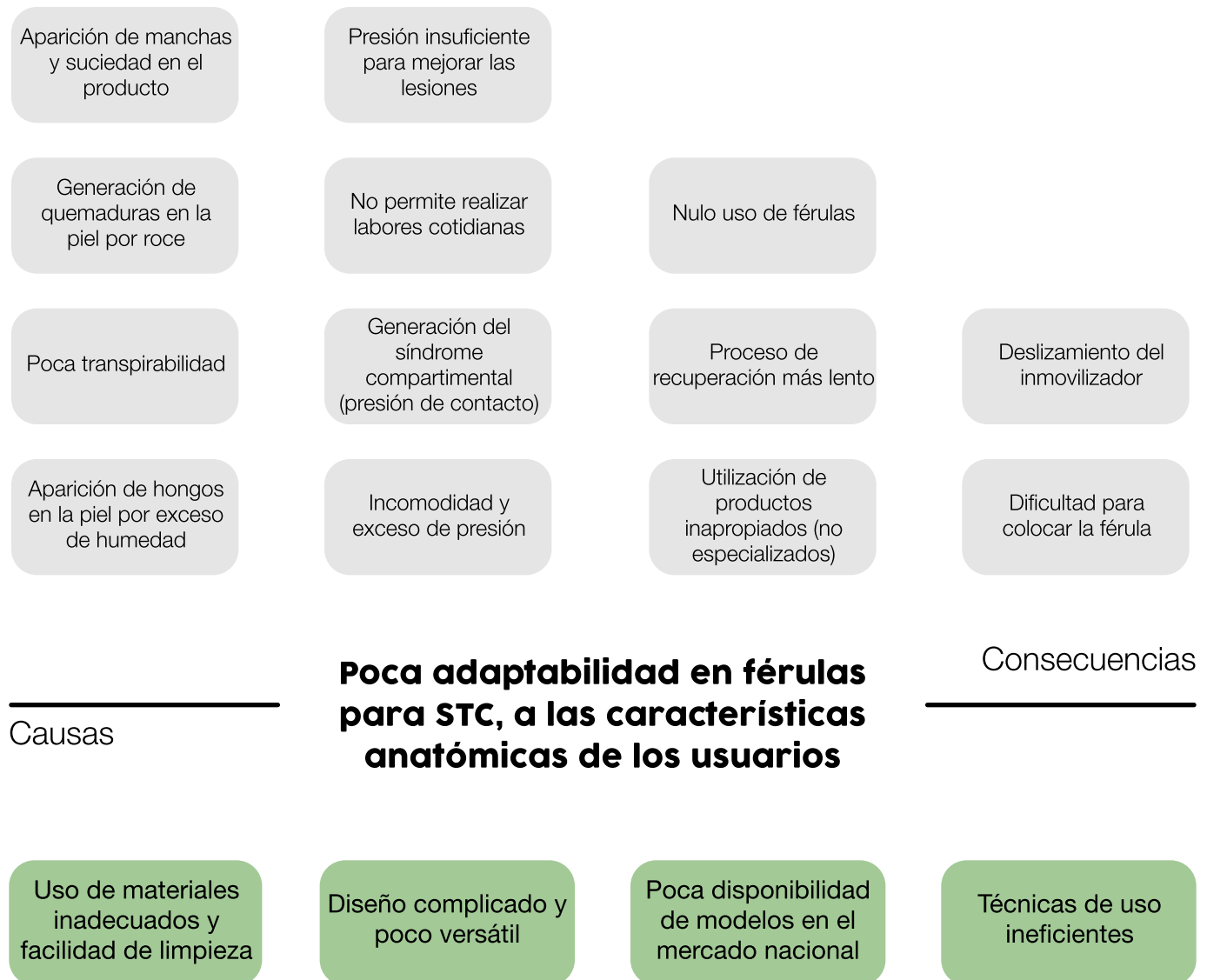


Fig.3. Árbol de problemas.

Fuente: Elaboración Propia, 2021.

## Diseño a la medida

Crear diseños a la medida es un aspecto muy importante a tomar en cuenta ya que está centrado en lograr mejoras biomecánicas en los pacientes mediante productos personalizables accesibles. El diseño a la medida es un factor muy importante ya que se adapta a las características anatómicas de los usuarios, brindando mayor apoyo y comodidad a la mano y la muñeca, lo cual brinda a los usuarios mayores oportunidades de mejora [5].

El proyecto se pretende desarrollar alrededor de este concepto ya que permite obtener buenos resultados en la disminución de los síntomas que sufren los pacientes como consecuencia del síndrome y además, este es el objetivo principal de la empresa.



Fig.4. Diseño a la medida, empresa Fixs. [5]

# **03.**

## **Objetivos**

## Objetivo general

Desarrollar un dispositivo médico para el tratamiento conservador del Síndrome del Túnel carpiano por medio de la adaptabilidad de las características anatómicas, dirigido a personas adultas entre los 30 y 55 años diagnosticadas con este padecimiento.



## Objetivos específicos

- Brindar un sistema de apoyo de uso cotidiano para la muñeca que restrinja el movimiento, reduciendo el dolor y adormecimiento de la mano.
- Proporcionar un diseño adaptable que permita adecuarse a las necesidades anatómicas de los distintos usuarios.
- Elaborar una propuesta de diseño que pueda ser fabricada en tecnología de impresión 3D según los requerimientos de la empresa

## Tratamiento conservador

El tratamiento conservador se emplea cuando la gravedad de la lesión va desde leve hasta moderado, y no se requiere una intervención quirúrgica. Estos incluyen el uso de férulas, fármacos orales, infiltraciones, técnicas de electroterapia, técnicas manuales específicas y ejercicios de deslizamiento neural, así como la combinación de varias de ellas [7].



**04.**

**Antecedentes**

## Fixs

Fixs es una empresa que fue fundada en el año 2018 por 3 Ingenieros en Diseño Industrial egresados del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Su actividad principal es el desarrollo de órtesis plantares y otros artículos biomecánicos hechos a la medida centrados en el usuario y sus necesidades, fabricados por medio de manufactura digital (impresión 3D aditiva) [5].

Su público meta son personas con ciertas condiciones o padecimientos ortopédicos que deseen tener un producto hecho a la medida y único. Les interesa el bienestar de las personas enfocado en la mejora de sus actividades diarias, deportivas y ayuda en procesos de rehabilitación; nuestro principal interés es el desarrollo de productos que sean accesibles, que se pueda masificar de forma personalizada y que incorporen procesos ágiles para la mejora continua de los mismos.



Fig.5. Logotipo de la empresa Fixs. [5]

**05.**

**Diagnóstico de  
la situación**

Datos de la Caja Costarricense de Seguro Social (CCSS) señalan que, en promedio, 1.500 personas son internadas cada año para realizarse procedimientos que buscan aliviar los efectos de este síndrome. La cifra de personas atendidas en el 2015 llegó a 626 y es de destacar que nueve de cada 10 personas sometidas a cirugía en la Caja son mujeres, o sea el 90%. De ellas, 346 están entre los 45 y 64 años, lo que muestra que el mal afecta a un rango de población muy amplio [8].

Todo apunta a que aportan un beneficio real, ya que el 40 % de los pacientes que utilizan una buena órtesis de la mano la siguen utilizando 5 años después del primer uso [7].

De esta manera, las férulas u órtesis son opciones de tratamientos personalizables ya que son ajustables, y a su vez son poco evasivas ya que se pueden desprender si el paciente así lo desea. La inmovilización nos garantiza la desaparición del dolor mientras mantenemos la articulación y los nervios en reposo.

Asimismo, como se mencionó anteriormente los dispositivos que se comercializan en la actualidad dentro del país para tratar en síndrome no son tan efectivos ya que poseen muchas limitantes en su diseño. Debido a esto, con el objetivo de rescatar las características más importantes que los mismos poseen y definir las oportunidades de mejora de estos, se analizó una serie de productos que se distribuyen y son de fácil acceso en el mercado nacional.



Fig.6. Gráfico de incidencia del STC en la población costarricense.  
Fuente: Elaboración Propia, 2021.

Por otra parte, las férulas de reposo o inmovilización, utilizadas para la rodilla, la muñeca y especialmente la mano, permiten poner la articulación en una posición que alivia las tensiones y lucha contra las deformaciones, debido a esto son consideradas buenas alternativas de tratamiento conservador.



Vital Plus-Muñequera con Control de movimiento

Fig.7. Muñequera Vital Plus, control de movimiento [9].



Ortopédica Chupis - Férula de túnel

Fig.10. Muñequera Chupis [12].



Ortopédica Genesaret -Férula para Túnel Carpiano

Fig.8. Muñequera Genesaret [10].



ADN Tienda - Muñequera con soporte de pulgar

Fig.11. Muñequera ADN Tienda [13].



Ortopédica Genesaret - Ortesis de muñeca

Fig.9. Órtesis Genesaret [11].



Vital Plus-Férula de palma de muñeca

Fig.12. Férula de palma, Vital Plus [14].

Gracias a esto se lograron determinar cuáles son los aspectos más importantes para tomar en cuenta, como por ejemplo la forma de la férula. Además de esto, considerar el apoyo que va a recibir la muñeca con el propósito de asegurar que la articulación se mantendrá en reposo. Asimismo, asegurar que la órtesis se mantenga en su lugar y no se deslice de su posición.

Por otra parte, se pretende brindar a los usuarios una opción de tratamiento que sea accesible y se adecúe a las necesidades que cada uno posee, sin la necesidad de buscar tratamientos con precios fuera de su alcance.

## **Público meta**

Del mismo modo, los usuarios meta de este proyecto son personas adultas entre 30 y 55 años que desempeñan actividades manuales. Esto se debe a que según estudios consultados, a partir de los 30 años el síndrome empieza a hacerse visible en la población y se excluyen personas mayores de 55 debido a que pueden poseer otras necesidades especiales relacionadas con la edad (adultos mayores).



# **06.**

## **Marco teórico**

## Síndrome del túnel carpiano STC

El Síndrome del Túnel Carpiano (CTS, por sus siglas en Inglés), es una neuropatía periférica focal, provocada por la inflamación y la presión en el interior del túnel formado por el carpo y el ligamento carpiano transverso en la muñeca, donde se encuentran diversos tendones y el nervio mediano. Este síndrome es el mejor conocido y la forma más frecuente de atrapamiento del nervio mediano, representando a su vez el 90% de las neuropatías por atrapamiento [15].

Este nervio es el encargado de la sensibilidad y movilidad de una sección importante de la mano. El nervio abarca específicamente el dedo pulgar, el dedo mediano y una parte del dedo anular, esta zona se puede apreciar de manera clara en la siguiente ilustración:

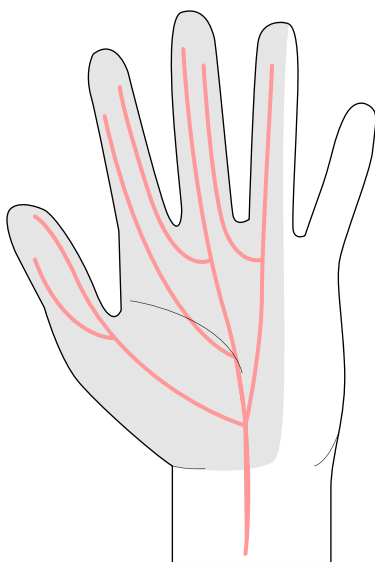


Fig. 13. Incidencia del nervio mediano.

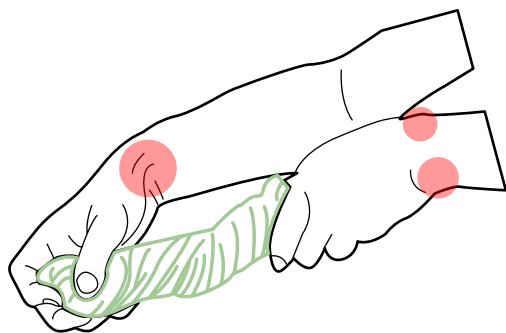
Fuente: Elaboración propia, 2021.

La compresión de este nervio se puede deber a distintos factores, pero la principal es la adopción de ángulos de flexión y extensión exagerados o posturas inadecuadas en la muñeca. De igual forma puede ser generado por movimientos repetitivos o posturas incómodas prolongadas, aumentando por consiguiente la presión en el canal. Asimismo, se encontró una fuerte asociación entre dormir en una posición lateral y la presencia de CTS. Esto fue más evidente en los hombres. Todos los hombres con CTS informaron que prefieren dormir de lado [15].

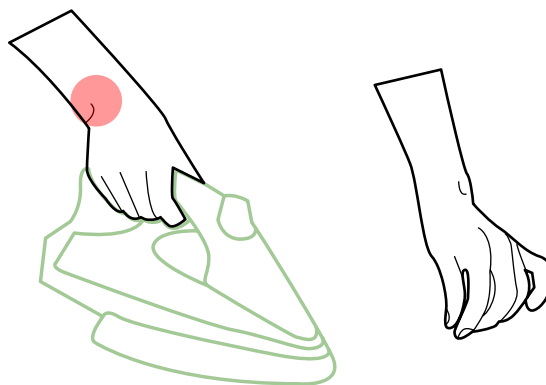
Este síndrome es conocido como la dolencia más común que se genera en la mano, siendo la mayor parte de su población afectada mujeres adultas de entre 40 y 60 años. Lo anterior ocurre debido a que generalmente por cuestiones anatómicas, las mujeres tienen el túnel del carpo más estrecho que el de los hombres. Además, si se cuenta con alguna de las siguientes enfermedades, se puede estar más expuesto a padecer el síndrome en el futuro: artritis, artritis reumatoide, osteoartritis, fracturas anteriores en la muñeca, esguinces o torceduras de muñeca, tiroides, menopausia, diabetes tipo II o embarazos en las últimas semanas [16].

Sin embargo, a pesar de todo esto, el rango de población afectada a nivel mundial ha ido en aumento debido a las labores manuales que se realizan en las jornadas laborales actualmente, como por ejemplo el uso de la computadora, máquinas de coser, herramientas que generan vibración, labores domésticas y muchas otras actividades laborales manuales, como se muestra en las siguientes ilustraciones:

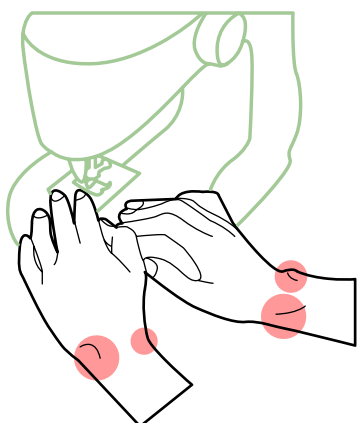
## Principales actividades que generan el STC



Retorcer la ropa.



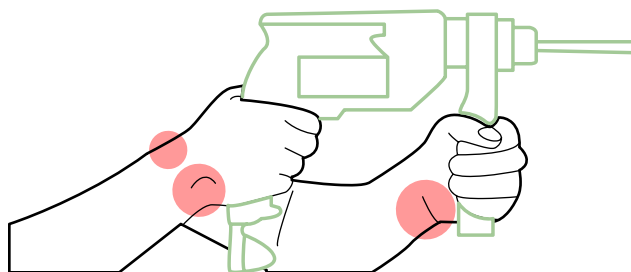
Planchar ropa.



Coser.



Usar la computadora.



Usar herramientas vibratorias.

Fig. 14. Tareas que pueden desencadenar el STC.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

## El COVID-19 y la tecnología

Del mismo modo, aparte de los factores mencionados, gracias a la emergencia provocada por el COVID-19 las personas se ven obligadas a trabajar desde sus casas con condiciones inadecuadas. Este cambio tan drástico y repentino obligó a las personas a adaptarse aún más a las tecnologías de información y comunicación (TIC), trayendo como consecuencia el uso excesivo de la computadora y otros dispositivos tecnológicos que pueden dar origen al STC.

Hoy en día las instituciones de servicios públicos se han adaptado, logrando generar una mayor cantidad de transacciones y servicios de forma digital; tal es el caso de los bancos, empresas de comercios, universidades y otros. Esto ha traído como resultado la digitalización de los expedientes médicos en hospitales, por ejemplo; es decir, se han simplificado muchos de los trámites, lo cual trae beneficios, tanto para las instituciones, como para los usuarios [17].

En Costa Rica, las generaciones más actuales (desde los millenials) se incluyen dentro de la Generación Digital, la cual ha tenido que adaptarse de manera necesaria a las herramientas tecnológicas para desarrollar sus labores con eficiencia.

En nuestro país, además se desarrolló el Plan Maestro de Gobierno Digital (2011-2014): este posee el objetivo principal de mejorar la alfabetización de la población, incrementar la necesidad del computador como una herramienta, fomentar la industria tecnológica, mejorar habilidades operativas, tener una conexión directa al aprendizaje digital (e-learning) y mejorar el acceso a la información de la población [17]. Por consiguiente, como se mencionó anteriormente, la sociedad costarricense está consumida en este cambio, evolucionando constantemente para adaptarse a la nueva realidad. Debido a esto, al ser el síndrome generado por puestos de trabajo y tareas tan comunes en la actualidad, puede traer como consecuencia una serie de problemas asociados a la baja productividad debido a la gran cantidad de molestias y dolor que el síndrome genera.

Por otra parte, este padecimiento está asociado comúnmente a tener altos costos de tratamiento que pueden llegar a ser poco efectivos. Entre los tratamientos existentes para el STC están los conservadores, los cuales pueden ser la utilización de antiinflamatorios, órtesis para inmovilizar la muñeca y mantenerla en posición neutral, infiltraciones con corticoides, la terapia física, esteroides inyectables, entre otros. Si los síntomas persisten de forma prolongada, será necesario realizar un tratamiento quirúrgico invasivo de descompresión simple. Este es el tipo de cirugía más frecuente y pretende liberar el nervio mediano [6].

Es importante tomar en consideración que la cirugía tiene una serie de riesgos como por ejemplo las infecciones, daños del nervio, rigidez de la mano, molestias en la cicatriz y puede llegar a generar pérdida de fuerza en la mano. A pesar de esto, en general el síndrome del túnel carpiano responde bien al tratamiento, pero menos de la mitad de las personas señalan que sus manos se sienten completamente normales después de la cirugía. Es frecuente cierto entumecimiento o debilidad residual. La mayoría de las personas pueden necesitar modificar la actividad de trabajo por varias semanas después de la cirugía [18].

Según datos de la empresa y estudios de investigación realizados para el proyecto, actualmente en el país hay un limitado o casi nulo desarrollo de este tipo de productos como lo son las órtesis y los que existen se siguen realizando por medio de procesos productivos “artesanales” o tradicionales, lo que disminuye el alcance para satisfacer las distintas necesidades de las personas. De igual manera, estas incrementan la presión en el túnel del carpo y pueden provocar que el dolor se vea incrementado o que el padecimiento no mejore como debería.

**01.**

**Metodología**

## Design Thinking

. Para el desarrollo de este proyecto se planteó una metodología de diseño que consiste en 4 fases distintas. Este método es conocido como **Design Thinking**. El mismo es un proceso no lineal e iterativo que los equipos utilizan para comprender a los usuarios, desafiar suposiciones, redefinir problemas y crear soluciones innovadoras para prototipos y pruebas [19].

Las etapas que componen este proceso corresponden respectivamente a la contextualización, definición del producto, idear, desarrollo de este y por último el testeo.

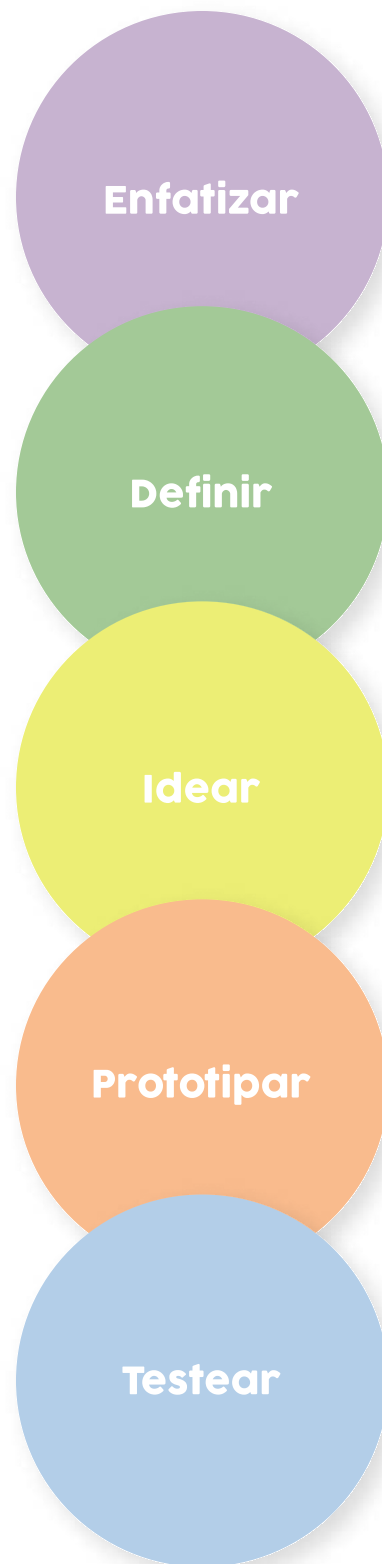


Fig. 15. Proceso de Design thinking.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

## 01.Contextualizar

La primera etapa de contextualización permite conocer sobre la problemática desde distintas disciplinas que la estudian, así como también identificar el problema central que afecta a los usuarios y de la misma manera la relación entre causa y efecto de los factores que conforman el mismo.

Además de esto, permite plantear identificar las oportunidades de mejora que existen entre los mismos y las necesidades o expectativas que tienen las personas en relación con este problema y las posibles soluciones que se pueden proponer.

Esto se logra implementando una serie de herramientas tales como:

- Investigación bibliográfica
- Árbol de problemas
- Análisis de los existente
- Entrevistas a posibles usuarios
- Entrevistas a profesionales de la salud
- Por último el planteamiento de los requerimientos de diseño.

## 02.Definir

La segunda etapa de definición del producto facilita la identificación de las funciones, los posibles componentes o la estructura que va a poseer el dispositivo, así como también sus sistemas y subsistemas.

De igual forma, permite establecer las características que definirán el nuevo producto, tanto en su apariencia como en sus requerimientos ergonómicos.

Todo esto por medio la implementación de herramientas como:

- Árbol de funciones
- Análisis tecnológico
- Análisis funcional
- Diagrama de sistemas y subsistemas,
- Análisis ergonómico
- Concepto de diseño
- Determinación de las especificaciones de diseño.

## 03. Idear

Así mismo, la tercera etapa de ideación, permite obtener propuestas de diseño que se adecúen a los requisitos planteados para el diseño o sirvan como base para el producto final que se espera tener.

Del mismo modo, facilita el recibir retroalimentación por parte de los usuarios y también identificar los resultados esperados que tienen estos y los profesionales de la salud con el dispositivo.

Esto mediante la aplicación de diferentes herramientas como:

- Exploración de ideas
- Pruebas de concepto
- Iteración de diseño.

## 04. Prototipar

A continuación, la fase de desarrollo de la propuesta y prototipado, ayuda a obtener un diseño mejorado que cumpla con los requisitos y especificaciones de diseño planteados anteriormente durante la etapa de investigación. Así como también determinar la factibilidad de producción del producto y el costo que el mismo puede generar.

También, cabe rescatar que ayuda a saber qué hace distinto al producto desarrollado de los que existen, y las ventajas competitivas que este puede llegar a tener en el mercado.

Todo esto mediante:

- Selección de la propuesta
- Desarrollo de esta
- Determinación de la manufactura

## 05. Testear

Por último, con el objetivo de validar la efectividad de la propuesta de diseño que se desarrolló, se lleva a cabo la etapa de testeo.

Con esta etapa se pretende recibir retroalimentación por parte de los posibles usuarios y las personas involucradas con el dispositivo médico. Todo esto en escenarios reales con usuarios reales del producto.

Lo anterior se logra por medio de:

- Entrevistas a usuarios.
- Entrevistas a profesionales de la salud.
- Pruebas del producto con usuarios reales.

**08.**

**Desarrollo**

# **08.1**

## **Contextualización**

Gracias al análisis de referenciales realizado se pudo conocer más información sobre la problemática y demás factores que rondan en torno a el Síndrome del Túnel Carpiano.

Por consiguiente, con el objetivo de poder conocer cuáles son las características principales que determinan los productos como órtesis y férulas que se distribuyen en nuestro país para tratar el síndrome, se procedió a realizar un análisis de referenciales. Esto se logra estableciendo unas series de atributos considerados importantes en el producto. El objetivo de la evaluación es verificar si dicho dispositivo cumple o no con cada uno de los atributos propuestos.

Para esto se tomaron en cuenta los siguientes criterios considerados importantes, permitiendo agrupar los productos según sus similitudes:

**Compresión ajustable con correas:** permite ajustar el dispositivo manualmente utilizando un sistema de correas.

**Utiliza materiales transpirables:** Los materiales permiten el flujo de aire hacia el interior y humedad o vapor hacia el exterior.

**Se ajusta al contorno de la mano:** El dispositivo posee un diseño estándar muy abultado o permite ajustarse a la forma de la mano de la persona que la utiliza.

**Puede ser utilizada después de una cirugía:** El producto permite obtener una compresión personalizada sin lastimar heridas y generar exceso de humedad.

**Posee soportes metálicos:** Se incorporan soportes metálicos rígidos en el producto que colaboren a la neutralización del movimiento de la muñeca.

**Incluye el dedo pulgar para mayor soporte en la muñeca:** Se rodea el dedo pulgar para brindarle al producto una mejor sujeción a la mano.

**Posee un diseño ambidiestro:** El producto puede ser utilizado en ambas manos.

**Impide la flexión y la extensión de la muñeca:** Brinda la rigidez necesaria a la mano para mantener la muñeca en posición neutral limitando sus movimientos.

**Utiliza sistema de ajuste seguro:** Los sistemas de cierre se mantienen por tiempo prolongado sin necesidad de un reajuste.

# Análisis de lo existente

## Vital Plus-Muñequera Con control de movimiento [9]

Precio: ₡ con cotización

Indicaciones de uso:

- Distorsiones leves, esguinces y distensiones en la muñeca.
- Tendinitis, bursitis y osteoartritis de la muñeca y la mano.
- Inestabilidad residual leve en la muñeca
- Síndrome del túnel carpiano.
- Estabilización e inmovilización después de una cirugía o lesión.

Características:

- El sistema BOA® Fit proporciona al usuario una forma fácil de ajustar la potencia de compresión girando el dial.
- El sistema BOA® Fit proporciona compresión y estabilización microajustable en la muñeca y la mano.
- Palmer Aluminum Stay para una estabilización e inmovilización seguras.
- Hecho de algodón duradero y transpirable en el interior para un ajuste y comodidad máximos.
- Tejidos ventilados para uso prolongado.



Compresión ajustable con correas

Utiliza materiales transpirables

Se ajusta al contorno de la mano

Puede ser utilizada luego de cirugía

Posee soportes metálicos

Incluye el pulgar para mayor soporte

Posee un diseño ambidiestro

Impide la flexión y la extensión

Utiliza sistema de ajuste seguro

# Análisis de lo existente

## Ortopédica Genesaret - Férula para Túnel Carpiano [10]

Precio: \$16,900.00 +IVA

Indicaciones de uso:

Ideal para personas que sufren de Túnel Carpiano o Síndrome de Quervain.

Características:

Posee una ballesta rígida central.

Es ajustable en velcro.

Posee una banda elástica que rodea el dedo pulgar.

Está hecha de materiales textiles gruesos.



Compresión ajustable con correas

Utiliza materiales transpirables

Se ajusta al contorno de la mano

Puede ser utilizada luego de cirugía

Posee soportes metálicos

Incluye el pulgar para mayor soporte

Posee un diseño ambidiestro

Impide la flexión y la extensión

Utiliza sistema de ajuste seguro

# Análisis de lo existente

## Ortopédica Genesaret - Ortesis o férula de muñeca [11]

Precio: \$19,900.00 +IVA

Indicaciones de uso:

Ortesis de muñeca con Férula Palmar y Dorsal.

Ideal para fracturas y túnel carpal.

Características:

Ajustable en elástico y velcro

Posee dos ballestas rígidas que se introducen dentro del producto.

Posee soportes de ajuste de plástico que unen las bandas elásticas.



Compresión ajustable con correas

Utiliza materiales transpirables

Se ajusta al contorno de la mano

Puede ser utilizada luego de cirugía

Posee soportes metálicos

Incluye el pulgar para mayor soporte

Posee un diseño ambidiestro

Impide la flexión y la extensión

Utiliza sistema de ajuste seguro

# Análisis de lo existente

## Ortopédica Chupis-Férula de túnel carpal ambidiestra [12]

Precio: ₡13,500.00 +IVA

Marca: Top Longmax

Indicaciones de uso:

Se inserta la región palmar en la placa metálica para la inmovilización.

La férula se puede quitar fácilmente para adaptarse a ambas manos.

Características:

La férula impide la flexión y extensión de la muñeca lo que puede aliviar la compresión del nervio y eliminar las molestias.

Está hecha de materiales elásticos no tan gruesos.



Compresión ajustable con correas

Utiliza materiales transpirables

Se ajusta al contorno de la mano

Puede ser utilizada luego de cirugía

Posee soportes metálicos

Incluye el pulgar para mayor soporte

Posee un diseño ambidiestro

Impide la flexión y la extensión

Utiliza sistema de ajuste seguro

# Análisis de lo existente

## ADN Tienda-Muñequera con soporte de pulgar [13]

Precio: ₡ 7.000,00

Marca: HOSP

Indicaciones de uso:

- Muñequera corta de neopreno negra con férula. Indicada para el síndrome del TÚNEL CARPIANO.
- Diseñado para proporcionar soporte rígido a la muñeca.
- Ideal para recuperación de muñeca o alivio del dolor de esguinces.
- Alivia síntomas como el hormigueo en las puntas de los dedos, entumecimiento de la palma de la mano, dolor en la muñeca o antebrazo.

Características:

- Ajustable en elástico y velcro
- Rodea al dedo pulgar abarcando una zona muy amplia.
- Posee soportes de ajuste de plástico que unen las bandas elásticas.



Compresión ajustable con correas

Utiliza materiales transpirables

Se ajusta al contorno de la mano

Puede ser utilizada luego de cirugía

Posee soportes metálicos

Incluye el pulgar para mayor soporte

Posee un diseño ambidiestro

Impide la flexión y la extensión

Utiliza sistema de ajuste seguro

# Análisis de lo existente

## Vital Plus-Férula de palma de muñeca [14]

Precio: \$ 15.500

Indicaciones de uso:

- Distorsiones leves, esguinces y distensiones en la muñeca.
- Tendinitis, bursitis y osteoartritis de la muñeca y la mano.
- Inestabilidad residual leve en la muñeca.
- Síndrome del túnel carpiano.
- Estabilización e inmovilización después de una cirugía o lesión.

Características

- Permitiendo una excelente estabilización en la región de la muñeca y la mano.
- Compresión ajustable con correas de velcro.
- Soporte de aluminio de palma para máxima estabilización e inmovilización.
- Forma amigable con la piel para máxima comodidad y ajuste del usuario.



Compresión ajustable con correas

Utiliza materiales transpirables

Se ajusta al contorno de la mano

Puede ser utilizada luego de cirugía

Posee soportes metálicos

Incluye el pulgar para mayor soporte

Posee un diseño ambidiestro

Impide la flexión y la extensión

Utiliza sistema de ajuste seguro

# Mínimos comunes

El análisis de referenciales realizado anteriormente se puede ver resumida en la siguiente tabla de mínimos comunes:

Características						
Compresión ajustable con correas	●	●	●	●	●	●
Utiliza materiales transpirables	●					
Se ajusta al contorno de la mano	●			●		●
Puede ser utilizada después de una cirugía					●	●
Posee soportes metálicos	●	●	●	●	●	●
Incluye el pulgar para mayor soporte en la muñeca	●	●	●	●	●	●
Posee un diseño ambidiestro				●		
Impide la flexión y la extensión de la muñeca	●	●	●	●	●	●
Utiliza sistema de ajuste seguro	●					

Tabla. I. Tabla de mínimos comunes.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

## Síntesis

Gracias al estudio de los referenciales que se realizó se pudieron determinar unas series de características que es importante mantener en el diseño. Entre estos aspectos es indispensable recalcar que la forma de la férula es muy importante, ya que esta debe abarcar con su estructura las zonas de la mano que requieren soporte, con el objetivo de que la muñeca se mantenga en posición neutral.

Del mismo modo, se debe tomar en cuenta que la forma seleccionada, tiene como propósito determinar el apoyo que va a recibir la muñeca y asegurar que la articulación se mantenga en reposo, sin realizar movimientos de flexión ni de extensión. Para esto es necesario tomar en cuenta la incorporación de soportes rígidos y materiales resistentes que cumplan la función de las ballestas.

Además, la estructura de la órtesis debe permitir que la misma se mantenga en su lugar y que no se genere ningún tipo de deslizamiento, esto se logra por medio de la correcta adaptación a la mano de los usuarios.

Por otra parte, el análisis permitió identificar las oportunidades de mejora que presentan los productos disponibles en el mercado nacional. Entre estas, es importante considerar que los sistemas de apoyo deben estar incluidos dentro de la estructura y no ser desprendibles, con el objetivo de que sea más segura e intuitiva. Lo anterior se debe a que si la estructura está dividida, los soportes pueden llegar a perderse y de esta manera la muñequera se vuelve inútil.

Asimismo, la estructura debe poseer tanto dimensiones limitadas como también un peso ligero, para que no genere fatiga y sea cómoda de utilizar para el usuario.

De igual manera, los materiales utilizados deben ser transpirables y de fácil secado, para disminuir la incomodidad y el peso que genera al mojarse. Además de posibles hongos y enfermedades en la piel.

Por último, el dispositivo médico se debe ajustar al contorno de la mano para brindar un mejor soporte y compresión. Debido a esto, el diseño debe incorporar sistemas de ajuste seguros que le permitan al usuario controlar la compresión que requiere sin que esta se desajuste constantemente ya que puede provocar que el sistema sea ineficiente.

## Entrevista a expertos

Con el objetivo de conocer la importancia de los distintos tratamientos conservadores que se emplean en el país y principalmente las férulas u órtesis, se realizó una serie de entrevistas a profesionales de la salud como lo son médicos ortopedistas y fisioterapeutas.

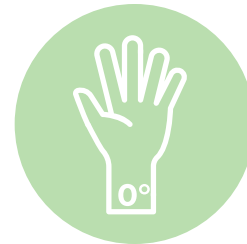
Lo anterior permite conocer la perspectiva que tienen los mismos en lo que respecta a dichos tratamientos y de igual manera tomar en cuenta las posibles oportunidades de mejora que estos han detectado a través de los años en los que han desempeñado sus labores.

Además de esto, las entrevistas ayudan a obtener información importante sobre el Síndrome del Túnel Carpiano y los requerimientos que debe tener el tratamiento para atacar la problemática con efectividad.

Gracias a los resultados obtenidos de las diferentes entrevistas, se pudieron concluir los siguientes requerimientos con los que deben cumplir los dispositivos de apoyo.

Las entrevistas realizadas a los profesionales de la salud se encuentran detalladas en: Anexos 1.

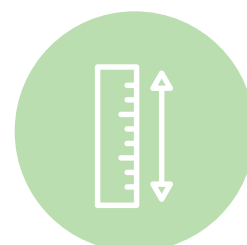
El dispositivo debe mantener la muñeca en posición neutra pero sin inmovilizarla por completo, ya que esto puede aumentar el estrés que se genera en la mano de la persona y un aumento de la inflamación.



Se debe implementar el uso de materiales ligeros para evitar el agotamiento y además de esto que permitan la transpiración porque hay personas que sudan mucho y esto puede provocar que se generen enfermedades en la piel como los hongos.



El diseño de cada dispositivo se debe adaptar a las dimensiones del brazo de cada persona, hacia la zona del antebrazo para que no sea incómodo y no genere estrés.



## Entrevista a usuarios

Del mismo modo, con el objetivo de conocer más a fondo las necesidades y expectativas que poseen los usuarios con el producto, se realizó una serie de entrevistas a 5 posibles usuarios. Estas eran personas entre los 30 y los 55 años que padecen o han padecido el síndrome.

Además de esto, se utilizarán los resultados de las entrevistas para determinar cuáles son las características que poseen estas personas en común y de esta manera definir la caracterización de los usuarios, basándose en las necesidades y condiciones de cada uno de ellos.

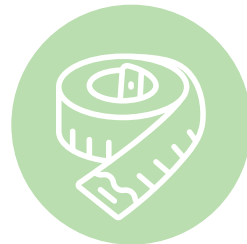
De los resultados obtenidos de estas entrevistas, se establecieron los hallazgos más importantes de acuerdo a las experiencias vividas por las personas involucradas, los mismos corresponden a:

Las entrevistas realizadas a los posibles usuarios del producto se encuentran detalladas en: Anexos 2.

El dispositivo deberían tener mecanismos de ajuste más seguros para que no se aflojen, ya que esto genera estrés en la persona y de igual manera la comprensión que recibe la muñeca no es adecuada.



Debería existir una mayor variedad de tallas disponibles en el mercado para que este sea más cómodo. Esto se debe a que muchas personas no poseen una talla exacta y debido a esto el modelo no se adapta a la muñeca de forma adecuada.



El producto desarrollado debe poderse utilizar mientras se realizan actividades laborales o tareas domésticas que impliquen que se pueda mojar o limpiarse con facilidad.



# Caracterización de usuarios

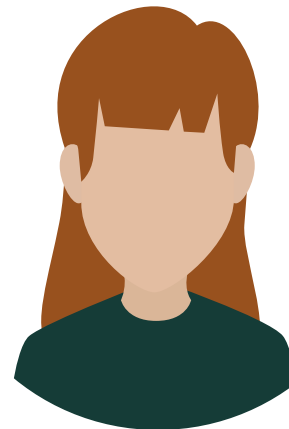
Con los resultados obtenidos de las entrevistas, se determinaron los dos tipos de usuarios principales que pueden hacer uso de el dispositivo de apoyo a diseñar. Los mismos corresponden a:

## ***Personas adultas entre 30-55 años diagnosticadas con el síndrome***

- Poder adquisitivo de medio a alto.
- Necesitan sentirse cómodas y seguras durante el día

### **Usuario #1**

- Personas que realizan labores manuales tales como actividades domésticas y el uso del computador.
- Necesitan utilizar la férula durante toda la noche y mientras realizan ciertas tareas en el hogar.
- Requieren materiales que sean fáciles de limpiar y secar.
- Desean poder realizar sus actividades diarias sin las complicaciones generadas por el síndrome.
- El dispositivo médico debe poder mojarse sin generar molestias al usuario.

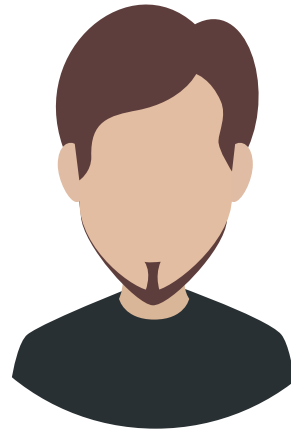


**Personas adultas entre 30-55 años diagnosticadas con el síndrome**

- Poder adquisitivo de medio a alto.
- Necesitan sentirse cómodas y seguras durante el día

**Usuario #2**

- Personas que realizan labores manuales tales como la mecánica y la práctica de actividades que requieran el uso de herramientas manuales vibratorias.
- Necesitan utilizar la férula durante su jornada laboral.
- Requieren de un tamaño y compresión ajustables según su condición y anatomía.
- Desean poder realizar sus actividades laborales cómodos y sin dolor.



# Requerimientos

Asimismo, el proceso investigativo y de análisis realizado anteriormente, permitió determinar los requerimientos de diseño con los que debía cumplir el producto para satisfacer las distintas necesidades de los involucrados en el diseño. Los mismos se pueden apreciar en la siguiente tabla:

I: Indispensable  
D: Deseable

Requerimiento	Requisito	Tipo	Parámetro
Diseño cómodo	Materiales blandos	I	Materiales que no lastimen la piel
	Diseño ligero	I	Materiales de impresión 3D con una baja densidad
Incorpora materiales transpirables	Permite el flujo de aire y la transpiración	D	Materiales de impresión 3D que permitan la transpiración
Utiliza métodos de ajuste seguros	Incorpora mecanismos de seguridad	D	Cierres seguros en las zonas de ajuste
	El usuario determina la compresión deseada	i	Diversos ajustes para distintas zonas
Debe poseer sistemas de apoyo	Incorpora ballestas rígidas de apoyo	I	Materiales rígidos que impidan la flexión y la extensión
Ajustarse al contorno de la mano	Moldearse a la anatomía de los usuarios	I	Ajustarse a las características anatómicas de los usuarios y a los posibles tamaños
Diseño intuitivo	Métodos de interacción intuitivos	I	Facilidad de uso Rápido de poner y quitar
Puede ser usado en actividades cotidianas	Puede mojarse	D	Materiales de secado rápido
	No se ensucia con facilidad	D	Materiales fáciles de limpiar Colores opacos

Tabla. II. Requerimientos de diseño.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

# Relación directa entre problemas y requerimientos de diseño

Con el objetivo de determinar si los requerimientos planteados resolvían los problemas encontrados en los productos que existen, se estableció una relación directa entre los problemas y los requerimientos establecidos. Así, se pudo evidenciar que los requerimientos si se ajustaban a las necesidades y deficiencias que giran en torno al tratamiento del STC. Esto se puede apreciar en el siguiente diagrama:

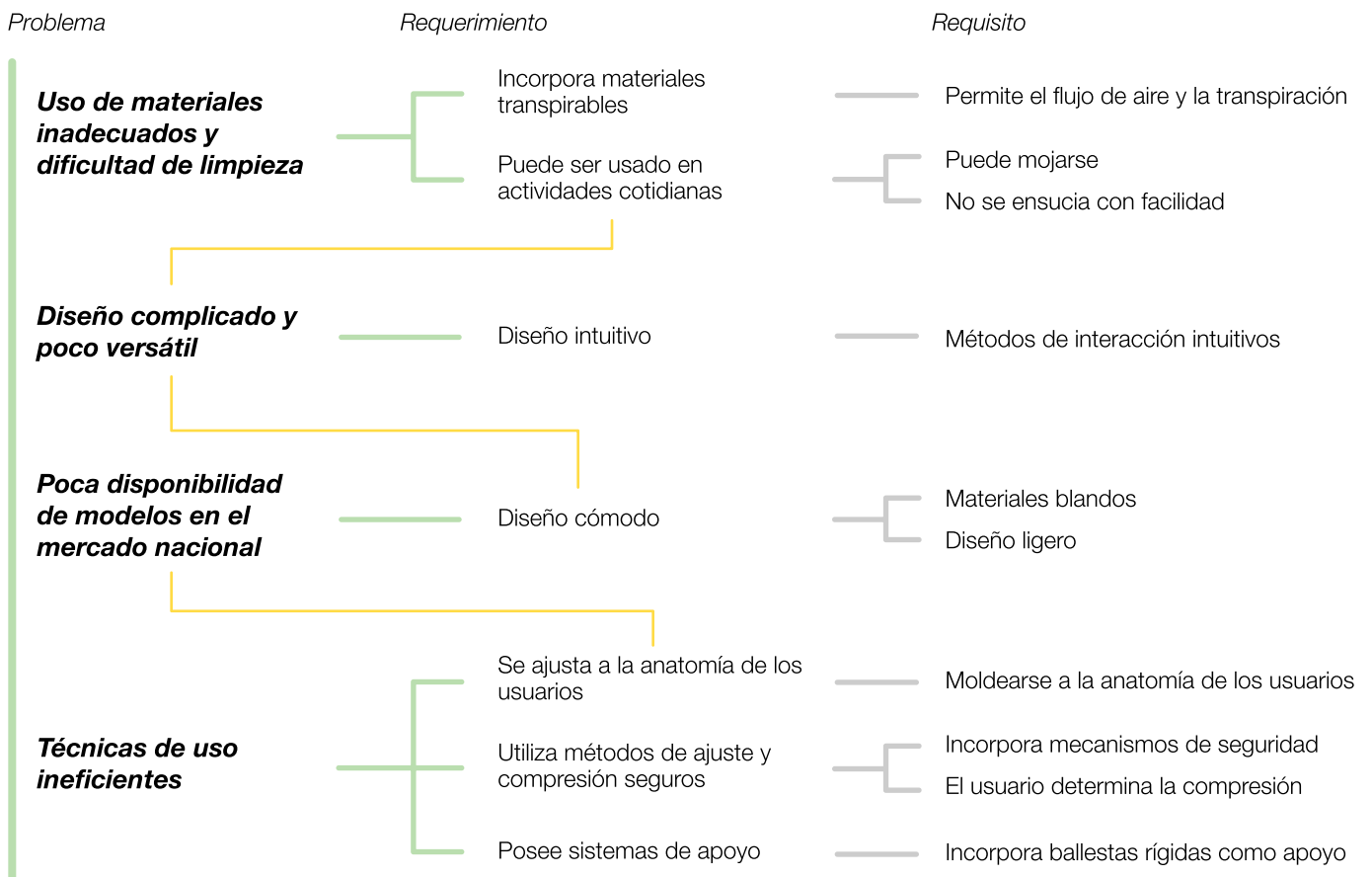


Fig. 16. Diagrama de problemas y requerimientos.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

# **08.2**

## **Definición del producto**

# Análisis funcional

De igual manera, según los datos obtenidos se determinaron las distintas funciones y subfunciones que debía tener el producto, con el fin de satisfacer las expectativas de los usuarios y lograr cumplir con el propósito del producto de manera adecuada.

Gracias a esto, se concluyó que la función principal del producto debía ser **Brindar un sistema de apoyo a la mano, para reducir las molestias producto del Síndrome del túnel carpiano.**

Posteriormente, a partir de esta se derivarían las funciones secundarias con las que debía cumplir el dispositivo de apoyo.

La relación entre las funciones se puede observar en la siguiente figura:

**Brindar un sistema de apoyo a la mano, para reducir las molestias producto del Síndrome del túnel carpiano**

Las subfunciones del producto, respectivamente corresponden a:

- **Proporcionar comodidad:** Utiliza materiales blandos y ligeros.
- **Adaptarse a las necesidades anatómicas de los usuarios:** Diseño adaptable a la anatomía y tamaño de los usuarios.
- **Permitir la realización de actividades cotidianas:** Materiales fáciles de limpiar.
- **Ofrecer un sistema de soporte en el área afectada:** Utiliza ballestas o estructuras rígidas.
- **Facilitar mecanismos de ajuste y compresión:** Cierres seguros de compresión ajustable.
- **Mantener la muñeca en una posición neutra:** Estructura resistente acoplada a la forma de la mano.

Proporcionar comodidad

Adaptarse a las necesidades anatómicas de los usuarios

Permitir la realización de actividades cotidianas

Ofrecer un sistema de soporte en el área afectada

Facilitar mecanismos de ajuste y compresión

Mantener la muñeca en una posición neutra

Fig. 17. Árbol de funciones y subfunciones.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

# Funcionamiento

De acuerdo a los parámetros funcionales establecidos anteriormente, el proceso de funcionamiento del dispositivo de apoyo está pensado para que cuando el usuario se coloque el dispositivo médico en la mano afectada por el síndrome.

Seguidamente, este debe proceder a hacer todos los ajustes necesarios utilizando los mecanismos de ajuste con la ayuda de la mano opuesta. Estas tienen el objetivo de mantener la compresión deseada por el usuario sobre la zona afectada, durante un periodo prolongado.

Este dispositivo le permite al usuario variar las compresiones entre distintas zonas mediante la utilización de métodos de ajuste independientes y seguros que pueden ser adaptados según las preferencias del mismo a la hora de fabricar el producto.

Las zonas rígidas en el dispositivo ayudan a reducir los movimientos de flexión y de extensión de la muñeca, colaborando de esta manera a la reducción del dolor en la misma. Permitiendo de igual forma, el descanso y desinflamación de la articulación.

Todo esto pretende lograr que la experiencia de uso de los usuarios sea satisfactoria. Al brindar las funciones esperadas del producto, se crea una buena relación entre las personas y el producto.

Además al mismo tiempo, este le ayudará a controlar los síntomas generados por el síndrome y a su vez, le permitirá lograr realizar sus actividades cotidianas con mayor confianza y comodidad.

# Sistemas

Los sistemas del producto se refieren a las distintas zonas que conformarán el mismo. Cabe rescatar que estas pueden estar conectadas entre sí, pero cada una de ellas cumple con un objetivo en específico relacionado con el correcto funcionamiento del mismo.

El producto, como sistema central es un **Dispositivo médico para el tratamiento conservador del síndrome del túnel carpiano**. Del mismo modo, este está compuesto por los siguientes subsistemas:

**Subsistema de Protección:** Materiales blandos y resistentes

**Subsistema de Seguridad:** Mecanismos de ajuste de compresión estables y fáciles de accionar

**Subsistema de Soporte:** Reforzamientos rígidos de material

Esta relación se puede observar en el siguiente árbol:

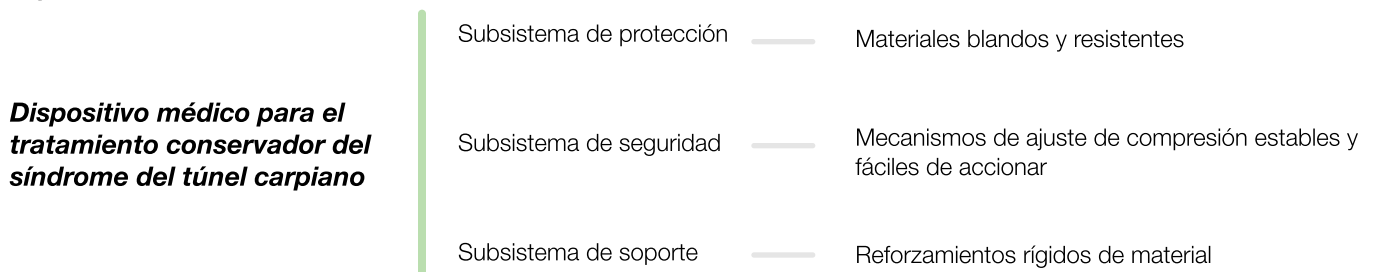


Fig. 18. Árbol de sistemas y subsistemas.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

## Principales zonas de apoyo en la mano

Según los profesionales entrevistados y las fuentes informativas consultadas, en la mano se encuentran 3 zonas importantes que son las que requieren de mayor apoyo para lograr que la muñeca se mantenga en posición neutral y descomprimida.

**Estiloides cubital:** Este tiene un rol importante en la biomecánica de la muñeca; su base y la fóvea son los puntos de inserción de los estabilizadores primarios de la articulación radiocubital distal, y participan en la estabilización del tendón cubital posterior y de los ligamentos cúbito-carpianos [20].

**Articulación carpometacarpiana:** esta zona interviene en el pronóstico funcional de la mano y sobre todo de la columna del pulgar, sitio en el que la movilidad carpometacarpiana interviene en todas las prensiones. Gracias a esta se pueden generar movimientos de flexión y extensión [21].

**Zona del carpo:** Esta es la más importante ya que está en la parte central de la muñeca y es la zona en la que ocurre el síndrome. Formada por el carpo y el ligamento carpiano transversal en la muñeca, donde se encuentran diversos tendones y el nervio mediano [15].

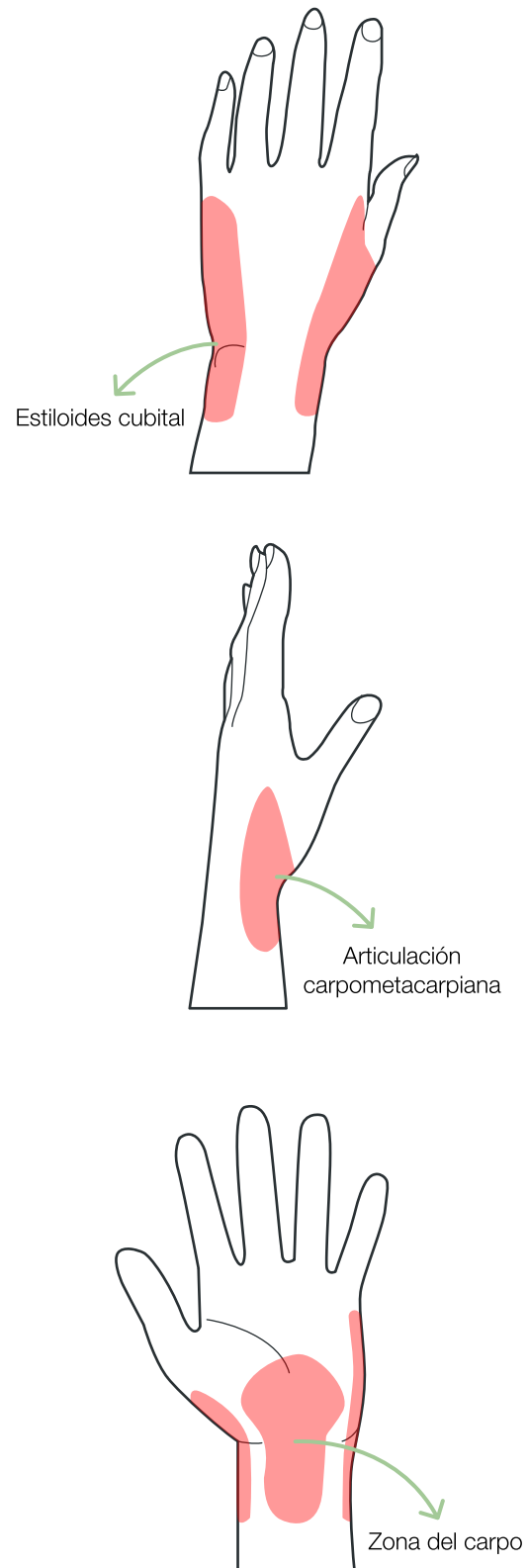
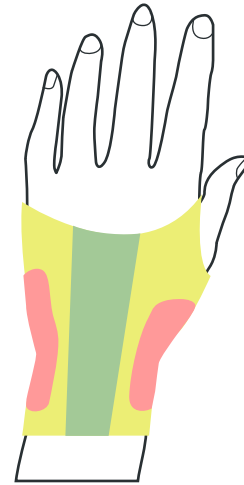


Fig. 19. Zonas de la mano que requieren soporte.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

## Distribución de densidad en las zonas de apoyo

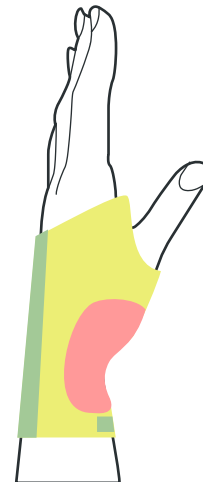
### **Zonas que requieren mayor**

**densidad:** Estas zonas son las que presentan una nula reticulación debido a que en estas es necesaria una mayor rigidez o soporte del material, con el objetivo de que brinde un adecuado apoyo a las zonas principales. Estas son la zona del carpo, el estiloides cubital y la articulación carpometacarpiana.



### **Zonas intermedias:**

Estas regiones de la retícula deben ser rígidas para brindar soporte, pero no es necesario que las mismas presenten una nula reticularidad. De esta manera poseen espacios reticulados no tan amplios en su composición.



### **Zonas que necesitan una mayor**

**transpiración:** En estas zonas de la retícula, es necesario poseer espacios más abiertos ya que bajo la superficie de esta se encuentran regiones que poseen alta sudoración, por lo que requieren de una mayor transpiración del producto.

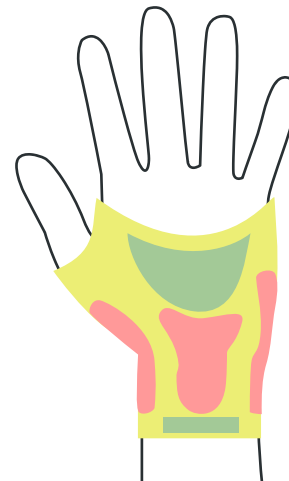


Fig. 20. Distribución de densidades.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

# Análisis tecnológico

Se realizó el análisis y la determinación de los posibles procesos tecnológicos que se pueden emplear en la elaboración del producto. Entre estos se encuentran los procesos de fabricación y materiales que se podrían utilizar, los mismos se describen a continuación:

**Manufactura:** El dispositivo médico será fabricado utilizando procesos de manufactura aditiva (impresión 3D), según los recursos que brinda la empresa. La impresión 3D es un grupo de tecnologías de fabricación por adición capaz de crear un objeto tridimensional mediante la superposición de capas sucesivas de un determinado material. Un proceso por el que se crean objetos físicos a partir de un modelo digital [22].

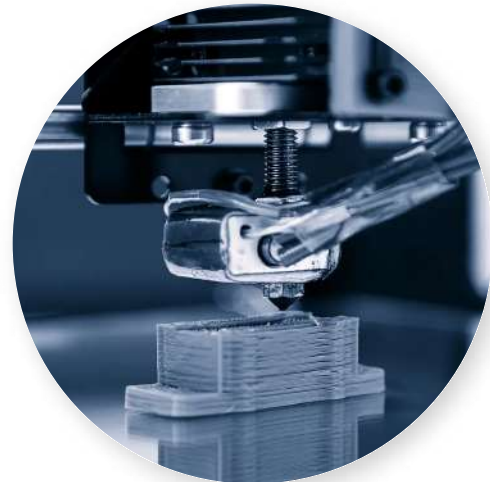


Fig. 21. Proceso de impresión 3D [22].

## Posibles materiales

### **PVC [23]:**

- Es un material termoplástico de bajo costo y fácil de conseguir.
- Es ligero y químicamente inerte e inocuo.
- Es resistente a los golpes y a agentes externos.

### Desventajas

- Se puede expandir ante altas temperaturas.
- No posee una muy buena apariencia estética.



Fig. 22. Material PVC [23].

**Nylon (Poliamida) [24]:**

- Se caracteriza por tener una muy buena resistencia a la fatiga y buenas propiedades dieléctricas.
- Las poliamidas además de dureza y tenacidad alta, también poseen una alta resistencia a la deformación térmica.
- Es un material ligero diseñado para impresión 3D.

**Desventajas:**

- Debido a su alta densidad y buena resistencia de la fibra, puede evitar que el viento frío invada en gran medida.
- Alta capacidad de absorción de humedad degrada las propiedades eléctricas y mecánicas.
- Atacado por los agentes oxidantes.



Fig. 23. Material Nylon Poliamida [24].

**Polipropileno [25]:**

- Es un plástico con muy baja densidad.
- Es un termoplástico de bajo costo y resistente al agua.
- Es reciclable indicado con el número 5 (PP).
- Este material puede ser usado como plástico o como fibra.
- Es resistente al agua, evita el traspaso de humedad y de agua.

**Desventajas:**

- Frágil ante bajas temperaturas.
- Sensible a la luz o los rayos ultravioleta.
- Difícil de pegar sin usar elastómeros.



Fig. 24. Material Polipropileno [25].

**TPU [26]:**

- Alta resistencia a la abrasión, al desgaste, al aceite, a la radiación
- Alta elasticidad
- Buenas propiedades táctiles
- Versatilidad de compuestos y propiedades

Desventajas:

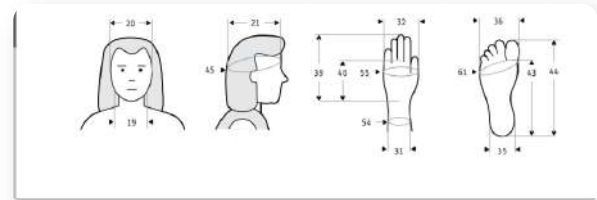
- Requiere condiciones especiales de fabricación en todos los métodos.
- Algunos grados tienen ciclos de vida cortos.
- El costo del material es más alto en comparación con algunos análogos (como el PVC)
- Requiere control de la cantidad de agua antes de procesarla.



Fig. 25. Poliuretano termoplástico [26].

# Análisis ergonómico

**Ergonomía:** Para el desarrollo del dispositivo médico se tomarán como referencia las medidas antropométricas de la población colombiana ya que son similares a las de nuestro país, esto para la realización del modelo estándar [27]. Pero cada diseño será adaptado a las necesidades anatómicas de los distintos usuarios, en cuanto a los ajustes y dimensionado del producto ya que serán diseños a la medida.



Dimensiones	40 - 49 años (n=225)					50 - 59 años (n=71)				
	2	D.E.	5	50	95	2	D.E.	5	50	95
19 Ancho de la cara	13.3	0.57	12.4	15.4	14.3	13.1	0.40	12.1	11.1	14.2
20 Ancho transversal cabeza	14.8	0.90	13.8	14.8	15.9	14.4	0.50	14.0	14.8	15.4
21 Ancho antero-post. cabeza	18.0	0.97	16.9	18.0	19.1	18.0	0.47	17.0	18.1	19.0
31 Ancho de muñeca	4.9	0.29	4.6	5.0	5.5	5.0	0.30	4.5	5.0	5.5
32 Ancho de mano	7.4	0.34	6.9	7.5	8.1	7.5	0.31	6.5	7.5	8.0
35 Ancho de talón	6.3	0.48	5.5	6.4	7.1	6.3	0.45	5.3	6.3	7.2
36 Ancho de pie	9.0	0.49	8.3	9.1	9.9	9.1	0.54	8.3	9.1	10.1
39 Largo de la mano	16.7	0.85	15.2	16.7	18.0	16.5	0.70	15.5	16.5	17.7
40 Largo palma de la mano	9.3	0.55	8.5	9.3	10.2	9.2	0.45	8.5	9.2	10.0
43 Largo de pie	23.8	1.08	21.4	22.9	24.9	22.7	0.93	21.4	22.8	24.2
44 Largo planta del pie	14.6	0.87	17.2	18.5	20.0	18.5	0.74	17.3	18.5	19.7
45 Perímetro de cabeza	53.3	1.59	50.8	53.3	55.7	53.0	1.34	51.2	53.0	55.3
54 Perímetro de la muñeca	14.8	0.79	13.5	14.8	16.3	15.0	0.82	13.8	15.0	16.5
55 Perímetro metacarpiar	18.1	0.87	16.7	18.1	19.6	18.1	0.92	16.9	18.1	19.7

Tabla. III. Medidas antropométricas de la población colombiana [27].

**Biomecánica:** El objetivo de este producto es mantener la muñeca en una posición neutra para lograr que se desinflame el túnel del carpo y de esta manera reducir el dolor. Debido a esto es necesario que los ángulos de extensión, flexión, radialización y cubitalización sean iguales a 0°, para que la muñeca esté en completo descanso [28].

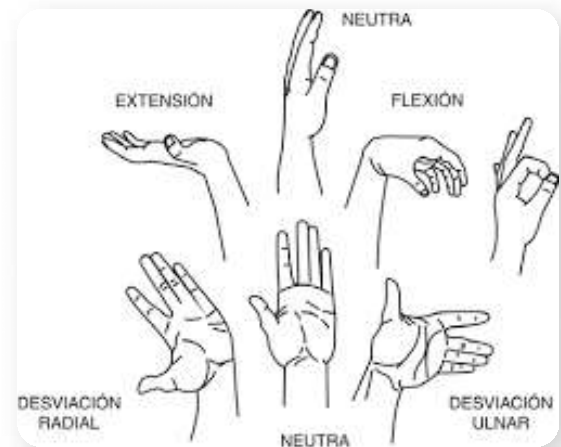


Fig. 26. Tipos de posiciones de la mano [28].

**Cognitiva:** Incorporar en el diseño métodos de interacción intuitivos, los cuales funcionen con características de modelo mental pertenecientes a otras órtesis o dispositivos médicos existentes, para que el usuario sepa cómo colocar y quitar el dispositivo de manera correcta con facilidad.

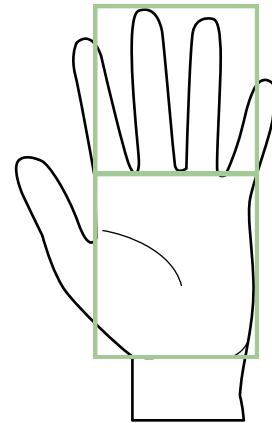


## Tipos de manos

La forma de la mano se define como la proporción entre el largo y el ancho de la mano [29]. A partir de esto, se establece que existen 3 tipos de manos principales:

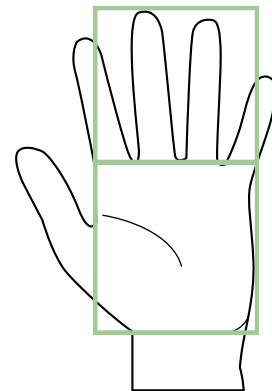
**Larga y angosta:** Estas personas tienen un menor nivel de fuerza en ambas manos.

- Proporción: 0.39 - 0.46
- Promedio: 38.4%
- Promedio de fuerza: 36.26



**Promedio:** Estas personas tienen un nivel promedio de fuerza, tanto en la mano izquierda como en la derecha.

- Proporción: 0.46 - 0.52
- Promedio: 57.2%
- Promedio de fuerza: 45.13



**Relativamente cuadrada:** Estas personas poseen los mayores niveles de fuerza en ambas manos.

- Proporción: 0.52 - 0.56
- Promedio: 4.3%
- Promedio de fuerza: 55.85

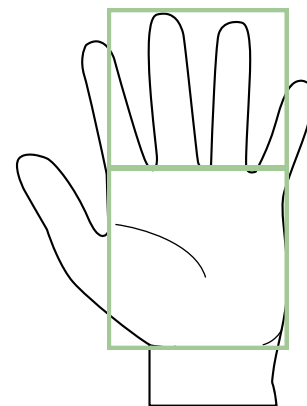


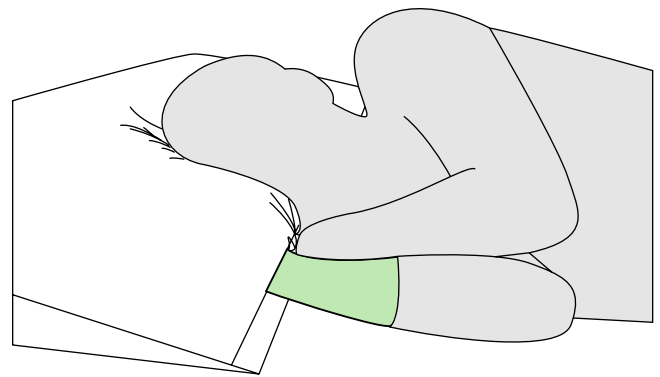
Fig. 27. Tipos de manos.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

## Posibles escenarios de uso

Definir los distintos escenarios de uso que podrá tener el dispositivo de apoyo a diseñar, permite establecer la relación persona-objeto que existirá. Estos escenarios están basados en las recomendaciones de los profesionales, entrevistas a los usuarios y los dispositivos existentes analizados.

### ***Al dormir***

La persona puede utilizar este dispositivo al dormir, de esta manera lo estaría utilizando alrededor de 7 horas seguidas [37]. La posición que más afecta al dormir es colocarse de lado sobre la mano. El dispositivo deberá reducir la tensión en la muñeca y mantener una compresión prolongada sin generar molestias.



### ***Al realizar labores domésticas***

Se estaría utilizando mientras se realizan labores simples por periodos cortos. Esto por ejemplo al planchar o al sacar ropa de la lavadora, debido a que estas tareas aumentan la flexión de la muñeca y la inflamación del nervio mediano.

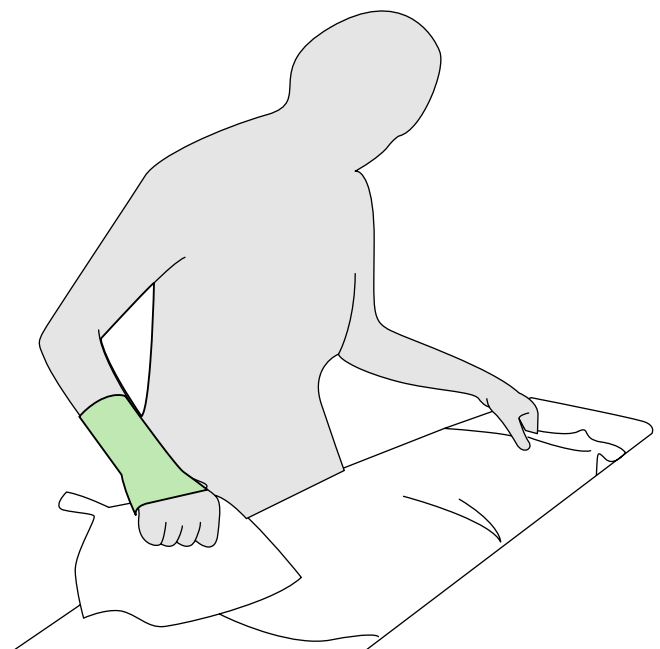


Fig. 29. Posibles escenarios de uso del producto.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

# **08.3**

## **Concepto de diseño**

# Adaptación terapéutica

Atributo que crea una relación con el usuario, mediante la comodidad gracias a la facilitación de realizar actividades cotidianas aprovechando sus capacidades, pero a la vez resguardando la lesión.

**Adaptación:** Acción y efecto de adaptar o adaptarse a algo [30].

**Terapéutica:** Conjunto de prácticas y conocimientos encaminados al tratamiento de dolencias [31].

## **Alcance**

- Desarrollar el diseño y modelado de un dispositivo médico para el tratamiento conservador del síndrome del túnel carpiano.
- Elaboración de un modelo físico para pruebas con posibles usuarios.
- Crear un manual de uso del producto final.

## **Expectativas**

- Brindar al usuario un diseño adaptable y accesible, que le ayude a realizar sus actividades cotidianas, mediante la reducción de los síntomas producidos por el síndrome.
- Aportar a la empresa un diseño de dispositivo médico para el tratamiento conservador del síndrome del túnel carpiano, de acuerdo con la necesidad planteada.

## **¿Qué es?**

Dispositivo médico dirigido a personas adultas diagnosticadas con el síndrome del túnel carpiano, que ayude a reducir los síntomas y efectos generados por el mismo.

## **¿Para qué es?**

Mejorar la calidad de vida de las personas, facilitando la realización de actividades y tareas cotidianas.

## **¿Para quién es?**

Personas adultas entre los 30 y 55 años de edad diagnosticadas con este padecimiento, quienes realizan tareas manuales domésticas o mecánicas.

## **¿Dónde?**

Dentro de espacios que frecuentan cotidianamente, tales como sus hogares y espacios de trabajo.

## **¿Cómo?**

Mediante la implementación de modelos adaptables impresos en 3D y métodos de interacción intuitivos.

# Análisis perceptual

Con el objetivo de determinar las características visuales que se desean plasmar en el producto, se realizó un moodboard que demuestra una serie de formas, acabados, colores y texturas que se desean tomar en cuenta en el diseño del producto. Este se muestra a continuación:

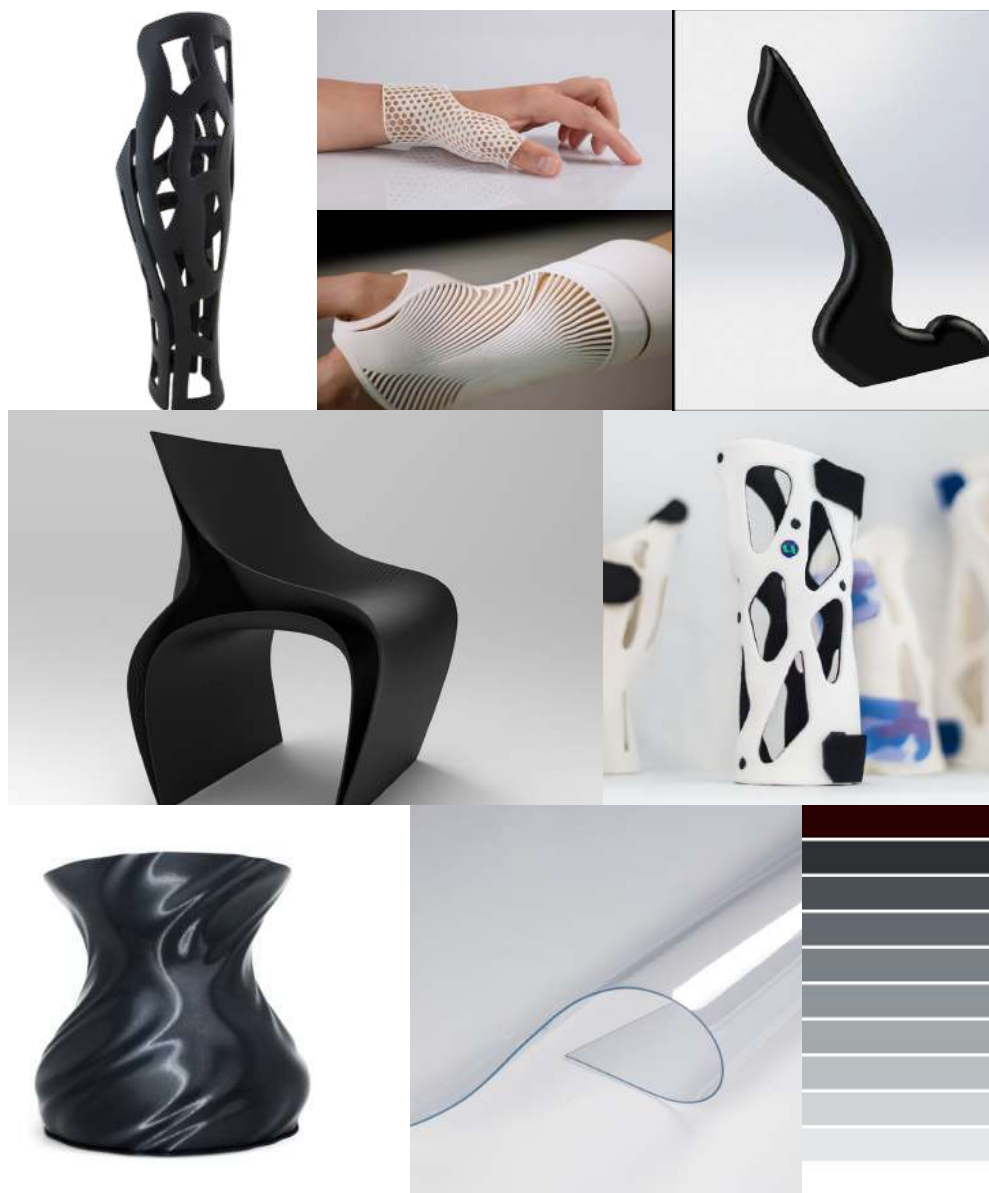


Fig. 29. Moodboard visual.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

## Síntesis

Gracias al moodboard empleado, se pueden apreciar las características perceptuales que se desean plasmar en el diseño del dispositivo médico. Las mismas se pueden resumir en **simple, fresco, cómodo y seguro**. Se destaca la continuidad de las superficies, las cuales poseen ángulos poco pronunciados. Esto provoca que la estructura se perciba como suave y segura al mismo tiempo gracias a su aspecto amigable.

Por otro lado, se pretenden emplear tonos fríos que pertenezcan a la escala de grises, con el objetivo de que se perciban como limpios y que de igual manera, se puedan limpiar con facilidad.

La estructura del producto debe verse rígida y resistente, pero se desea incorporar materiales flexibles los cuales permitan que producto sea más fácil de manipular. De igual manera, esto favorece la adaptación del mismo a las características anatómicas de las personas, brindando un mejor ajuste.

Asimismo, las zonas abiertas y bordes redondeados generan que el diseño se perciba como fresco y ligero gracias a la disminución de material (sin capas uniformes) a lo largo de toda la superficie.

# **09.**

# **Alternativas de diseño**

# **09.1**

## **Ideación**

# Exploración

Con el objetivo de explorar posibles soluciones para cada uno de los subsistemas que componen el producto, se planteó una matriz morfológica donde se presentan posibles soluciones que puedan satisfacer las necesidades de los distintos usuarios. Esta se muestra a continuación:


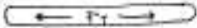





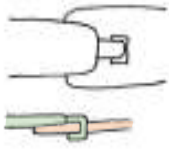


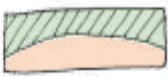



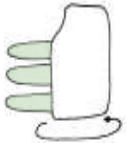
Subsistema	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3	Propuesta 4	Propuesta 5
Protección	Base de materiales blandos y suaves 	Uso de materiales flexibles y suaves 	Materiales gruesos resistentes a golpes 	Funda protectora textil inferior 	Materiales blandos en zonas específicas 
Seguridad	Cierres de velcro 	Cierre por bandas elásticas 	Cierres mediante clips 	Cierres por medio de broches 	Cierres a presión por encaje 
Soporte	Reforzamientos por capas de material 	Uso de ballestas independientes 	Ballestas rígidas incorporadas 	Uso de banda amplia envolvente 	Uso de múltiples bandas envolventes 

Tabla. IV. Matriz morfológica.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

# Posibles combinaciones

A partir de la matriz morfológica, se plantearon 3 posibles combinaciones de sistemas que podrían ser factibles y funcionar entre sí.

## Primera alternativa:

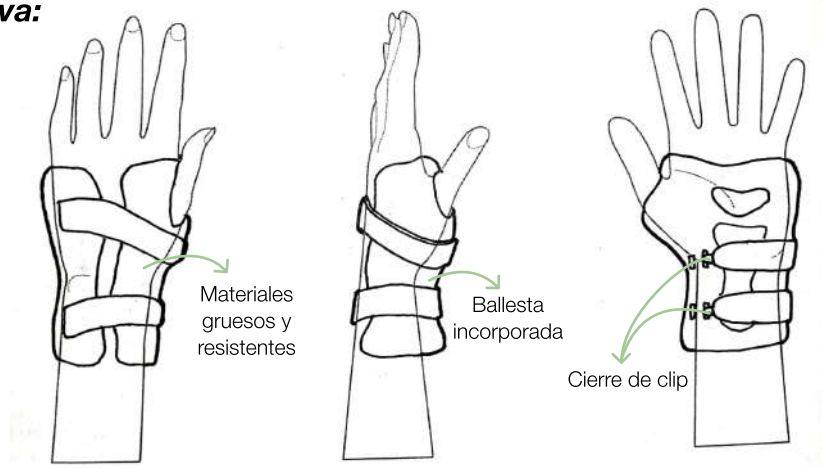


Fig. 30. Primera posible combinación.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

## Segunda alternativa:

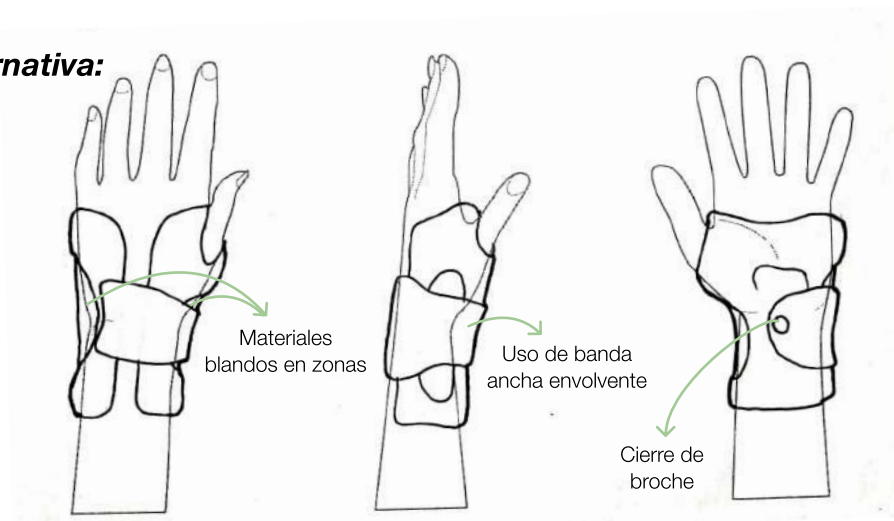


Fig. 31. Segunda posible combinación.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

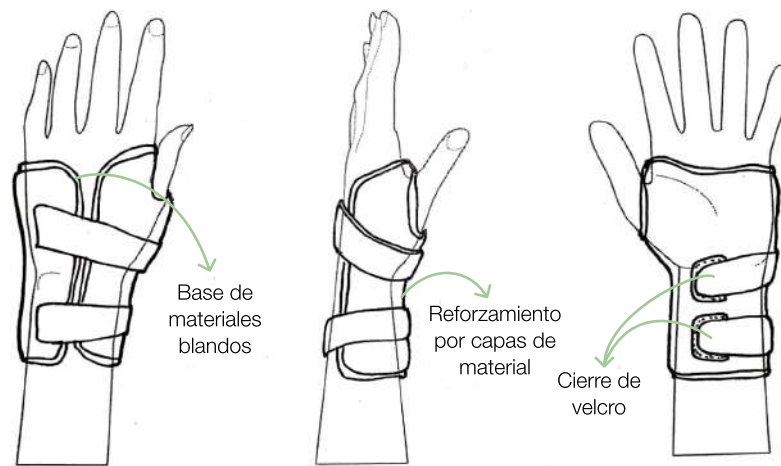
**Tercera alternativa:**

Fig. 32. Primera posible combinación.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

## Verificación

Partiendo de las posibles combinaciones realizadas, se procedió a consultar a posibles usuarios qué pensaban de las tres posibles soluciones planteadas. La alternativa que mejor se adaptaba a las especificaciones de estos fue la primera debido a razones como:

La utilización de ballestas o soportes incorporados en el diseño permite que sea más fácil interactuar con el producto, y de la misma manera se reduce el riesgo de perder componentes esenciales para el funcionamiento.

En general los usuarios prefieren los sistemas de cierre que no sean velcro ya que los mismos les parecen más confiables. Los usuarios no han tenido buenas experiencias con los cierres de velcro ya que se desgastan con facilidad y no se mantienen fijos.

Además de esto, la incorporación de un material que sea resistente y se pueda mojar es muy importante. Asimismo, las personas no desean utilizar fundas u otros elementos que sean independientes de la órtesis ya que los mismos se pueden arroyar y volverse incómodos.

De igual manera se tomará en cuenta la idea de incorporar una estructura con reducciones de material o huecos, ya que los mismos afirman que esto ayuda a que exista mayor ventilación y que el producto se sienta más ligero.

## Otros aspectos a considerar

Gracias a las observaciones realizadas por los usuarios se determinó que era importante tomar en cuenta otros aspectos que podían influir de manera importante en la efectividad del diseño.

El primer aspecto a considerar es la **Estructura de retícula**. Este tipo de estructura es recomendable para la manufactura aditiva ya que se adapta a los procesos de impresión 3D, agilizando de manera efectiva la elaboración de los distintos productos.

### *Ventajas estructurales:*

- Permite ahorrar material ya que se necesita menos.
- El proceso es más económico debido al ahorro de insumos.
- Se disminuyen los tiempos de fabricación.

### *Ventajas ergonómicas:*

- Permite tener mayor flexibilidad.
- La forma de la retícula se puede adaptar según especificaciones.
- Permiten la transpiración de la piel.
- Se producen diseños más ligeros y por ende más cómodos.

### *Desventajas estructurales:*

- Pueden dejar marcas en la piel por el sol y por exceso de presión en la zona.
- Si no se tratan adecuadamente se pueden quebrar o deteriorar con el tiempo.
- Pueden parecer frágiles a simple vista.
- El proceso de adaptación a la anatomía de los distintos usuarios puede parecer complicado.

## Composición

### *Bordes:*

Se recomienda que los bordes sean superficies sólidas sin retícula (engrosamiento del material en los extremos), con el objetivo de que los mismos brinden un mayor soporte a la estructura y esta no se quiebre con facilidad.

### *Espacios entre retícula:*

Los espacios que componen la retícula no pueden ser muy amplios en las zonas que requieren de mayor soporte con el objetivo de mantener las mismas protegidas y la muñeca en posición neutra por periodos prolongados.

# Retículas

Si se desea incluir un diseño reticulado es de suma importancia el tipo de retícula que se estará implementando. Debido a esto es necesario conocer cuáles son los tipos de estructuras y formas más resistentes, con el objetivo de que el producto no sufra ningún tipo de deformación por tensión.

La mayoría de las soluciones constructivas y estructurales surgen del planteamiento de un problema a resolver o en el contexto de un proyecto específico [32]. Así se han logrado los avances que existen en el desarrollo de muchas técnicas constructivas.

El estudio de los domos geodésicos se le asigna a Buckminster Fuller, arquitecto, ingeniero, matemático, inventor y poeta norteamericano. El término Geodésico proviene de geodesia, que es la ciencia de medir la dimensión y la forma de la tierra [32].

La mayoría de los domos geodésicos se construye a partir del icosaedro, último de los sólidos de Platón, un poliedro de 20 caras triangulares inscrito en una esfera y cuyos vértices tocan la superficie de ella [32]. A mayor subdivisión o a mayor frecuencia, menores serán las dimensiones de las barras y los triángulos, lográndose mayor resistencia y aproximándose cada vez más a la esfera en que está inscrita la forma del domo.

La unión de 6 de estos triángulos equiláteros conforma un hexágono. Esta es también una de las razones por las que resultan tan firmes y estables.

Si nos fijamos bien, nos daremos cuenta de que el hexágono es muy utilizado en nuestro día a día; por ejemplo, los tornillos de mayor resistencia son hexagonales, sea mediante un hexágono interno o externo. Capaz de resistir grandes fuerzas y tensiones, lo podemos encontrar por ejemplo, en la industria del automóvil, en aviación o en maquinaria industrial.

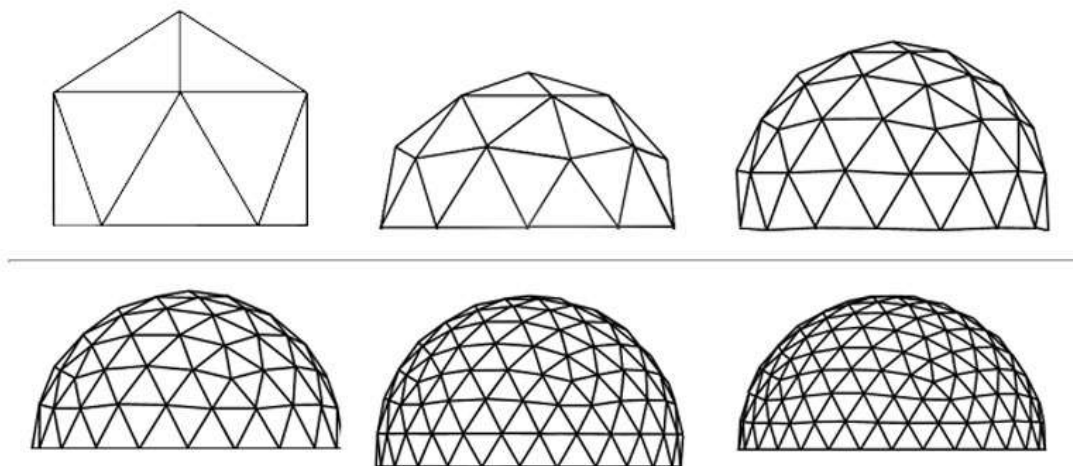


Fig. 33. Diferentes tipos de domos triangulados [32].

## Otros aspectos a considerar

El segundo aspecto a considerar corresponde a los **Sistemas de cierres** que se implementarán en el dispositivo.

### **Estructura:**

De la misma manera, los cierres no deben tener dimensiones tan amplias con el objetivo de que no sobresalgan mucho de la superficie del dispositivo. Esto con el propósito de no generar incomodidad a los posibles usuarios. Del mismo modo, estos pueden quedar enganchados en la ropa u otras superficies y generar posibles accidentes.

### **Ubicación**

La ubicación del sistema de cierre interfiere en el correcto funcionamiento del dispositivo ya que puede generar cambios en la cantidad de compresión y apoyo que la misma brinda.

Asimismo, existen distintos tipos de cierres fijos que se pueden tomar en cuenta para el sistema a diseñar. Los mismos poseen dimensiones moderadas y son mecanismos con un proceso de funcionamiento intuitivo.

De igual forma, estos tienen la posibilidad y facilidad de ser manipulados con una sola mano sin que la tarea se extienda por mucho tiempo o genere estrés.

Dichos mecanismos son considerados componentes estandarizados debido a que se pueden encontrar en el mercado ya fabricados. Los mismos poseen precios accesibles y pueden ser adquiridos en el país, o bien, ser importados.

Los sistemas de cierre tomados en cuenta como posibles alternativas corresponden respectivamente a:

- Sistema de cierre Boa
- Sistema de cierre Lock Laces
- Sistema de cierre de bandas elásticas.

# Propuestas de sistemas de cierre

**Sistema de cierre BOA:** Cada sistema micro ajustable usa configuraciones únicas de dial, cable/cordón y guías para ofrecer un ajuste y un rendimiento nunca antes vistos. Si bien cada componente es indispensable para optimizar la experiencia de ajuste, la base de BOA es el dial [33].



Fig. 34. Funcionamiento del sistema Boa [33].

## Pasos de uso:



Paso 1:  
Presionar el sistema hacia adentro.



Paso 2:  
Girar hacia la derecha para ajustar.



Paso 3:  
Jalar la pieza hacia afuera y asegurar.

Fig. 35. Pasos de uso del sistema Boa.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

## Desventajas

El tamaño del dispositivo podría llegar a ser muy grande e incómodo ya que puede quedar enganchando.

**Sistema de cierre Lock Laces:** Sistema de cierre compuesto por un hilo elástico con un mecanismo ajustable para que sea más simple de utilizar. Este sistema funciona como alternativa a un nudo y mantiene la compresión deseada [34].



Fig. 36. Sistema de cierre elástico Lock Laces [34].

### Pasos de uso:



Paso 1:  
Colocar el cordón de la manera más eficiente deseada.



Paso 2:  
Presiona el botón para liberar los agujeros e introducir el cordón.



Paso 3:  
Desliza el mecanismo hasta tener la compresión deseada y suelta el botón.

Fig. 37. Pasos de uso del sistema Lock Laces.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

### Desventajas

El ajuste del mecanismo podría ser difícil de realizar utilizando una sola mano si no se coloca en una posición accesible.

### **Sistema de cierre por bandas**

**elásticas:** Son bandas elásticas que se introducen dentro de ojeteros y brindan el ajuste deseado ya que se pueden acomodar según la preferencia de los usuarios, ya sea esto en línea recta o en diagonal [35].

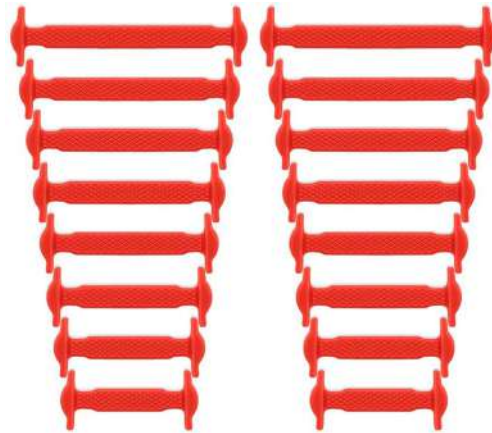


Fig. 38. Sistema de cierre por bandas elásticas [ 35].

### **Pasos de uso:**



Paso 1:  
Insertar las bandas de un lado.



Paso 2:  
Insertar las bandas del otro lado.



Paso 3:  
Comprobar que estén bien puestas.

Fig. 39. Pasos de uso del sistema de bandas elásticas.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

### **Desventajas**

Las piezas pueden llegar a extraviarse o a deteriorarse con el tiempo de uso.

# Ubicación de los sistemas de cierre

Con el objetivo de determinar la facilidad de su de los posibles sistemas de cierre según su ubicación, se realizó un **Análisis biomecánico** de las posibles alternativas.

## Cierre en la zona superior



Fig. 40. Cierre superior análisis biomecánico.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

## Cierre en el borde lateral externo



Fig. 41. Cierre lateral análisis biomecánico.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

Como se puede evidenciar en los dos ejemplos de escenarios anteriores, la mano opuesta debe adoptar ciertas posiciones para colocar el dispositivo de manera eficiente.

Para determinar el nivel de estrés de las posiciones adoptadas en las dos pruebas realizadas, se utilizó la herramienta RULER del sitio web Ergonautas [36].

Dentro de las posiciones que eligió el usuario para colocar el dispositivo, en el cierre lateral la muñeca realiza movimientos incómodos en los cuales la muñeca se sale totalmente de sus ángulos de confort. De esta manera puede aumentar la tensión en la misma y generar otros problemas a futuro en comparación al cierre superior. Por lo que se considera que esta es la mejor alternativa.

# **09.2**

# **Propuestas de diseño**

## Primera propuesta

Posee una mayor cantidad de espacio en la parte superior para colocar la mano pero el resto de la estructura es cerrada como de costumbre. Por otra parte, se dificulta mucho para el usuario colocar la mano dentro del dispositivo si el material es muy rígido. Puede ser doloroso e incómodo.



Fig. 42. Prototipo y renders de la primera propuesta de diseño.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

## Segunda propuesta

Posee el cierre de manera diagonal pero requiere de cierres que mantengan el dispositivo cerrado por completo, sin dejar zonas de piel descubiertas. Debido a esto, requiere tener dos tipos de cierres o reemplazar los cierres planteados anteriormente.



Fig. 43. Prototipo y renders de la segunda propuesta de diseño.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

## Tercera propuesta

Igual a la anterior posee el cierre de manera diagonal pero no requiere de cierres que mantengan el dispositivo totalmente cerrado.

En la parte trasera usa materiales flexibles que facilitan el proceso de colocación, pero el mismo sigue siendo un poco complejo.



Fig. 44. Prototipo y renders de la tercera propuesta de diseño.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

## Cuarta propuesta

Posee la forma de los dispositivos convencionales pero en la parte trasera tiene dos divisiones de materiales flexibles que brindan mayor facilidad para poner y quitar el dispositivo. Dividiendo las zonas rígidas en 3 partes y manteniendo el soporte necesario para la mano.



Fig. 45. Prototipo y renders de la cuarta propuesta de diseño.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

## Selección de la propuesta

De acuerdo a las pruebas realizadas tanto con el prototipo como también con el modelado 3D y tomando en cuenta aspectos tales como:

- Facilidad de uso.
- Accesibilidad de los sistemas.
- Diseño intuitivo.
- Estabilidad de la estructura.
- Soporte que brinda a la muñeca.

Se seleccionó la **cuarta propuesta** para seguir trabajando ya que es la que mejor se adapta a las necesidades y requerimientos establecidos anteriormente en el proceso de diseño.

Además de esto, con el objetivo de buscar desarrollar la mejor solución, se procedió a realizar variaciones de esta propuesta incluyendo el **sistema de cierre de bandas elásticas** como el sistema seleccionado ya que es fácil de usar, se puede fabricar de manera sencilla utilizando materiales y métodos simples, y de esta manera permitiendo que se reduzcan los costos de manufactura del producto. Asimismo, es importante tomar en cuenta que las bandas pueden ser reemplazadas de forma sencilla en caso de daños o extravíos.



Fig. 46. Alternativa de dos bandas flexibles.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.



Fig. 47. Alternativa de una bandas flexibles.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

Gracias a estas alternativas de diseño, se concluyó que es más oportuna la segunda alternativa con una sola zona flexible en la parte trasera (parte de la palma). Lo mismo, se debe a que esta al tener menos partes posee una mayor estabilidad estructural y requiere de una menor cantidad de sistemas de uniones entre las partes rígidas y partes elásticas.

# **09.3**

## **Evolución de la propuesta**

## Exploración de la propuesta de diseño

Luego de determinar cuál sería la estructura adecuada para la propuesta de diseño seleccionada, se procedió a realizar una serie de prototipos con el objetivo de determinar la adaptación que este puede tener a la mano de los distintos usuarios.

Además de esto, las pruebas con el prototipo debían ayudar a comprobar la efectividad en la limitación de los movimientos de la muñeca generada por este.

Para esto se realizó la impresión 3D en ABS de los laterales del dispositivo, ya que estos componen las partes rígidas del sistema de apoyo y serían las secciones encargadas de brindar soporte a la muñeca.



Fig. 48. Prototipo de Impresión 3D de las partes rígidas en ABS.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

## Resultados del prototipo

Como se puede observar en la Figura 49, el prototipo no se adapta de manera adecuada a los contornos de la mano de la persona. De igual forma, se determinó que el material y la forma de la estructura pueden llegar a lastimar la mano de los usuarios. Esto ocurre principalmente en estructuras óseas que sobresalen en la muñeca, como lo es el extremo del Cúbito, esto se puede apreciar en la misma figura.

Además de esto, se identificó que otra zona afectada era alrededor del dedo pulgar, esto de igual manera generado por la rigidez del material y la estrechez de la zona por la que debe pasar el mismo.



Fig. 49. Prueba mano derecha del primer prototipo impreso en 3D.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

Por otra parte, se hizo la prueba de distintas posiciones posibles que podía tener el dispositivo, de esta manera se logró apreciar que el mismo encajaba mejor con las piezas colocadas al revés, en la mano contraria (mano izquierda) a la que se planteó el diseño del dispositivo (mano derecha).

Esto se debió a que, como se puede observar en la Figura 50, las curvas que poseía el mismo eran muy pronunciadas, por lo que la zona más plana se adaptó mejor a la palma de la mano.

Se pueden apreciar de igual manera, los excedentes de las curvas pensadas para la palma de la mano, generadas por el sobredimensionado del dispositivo en las pruebas realizadas con el prototipo.



Fig. 50. Prueba mano izquierda del primer prototipo impreso en 3D.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

## Exploración con materiales flexibles

A partir de los resultados obtenidos de las pruebas realizadas con el prototipo anterior, se planteó la posibilidad de realizar la impresión de diseño con un material más flexible.

Esto con la posibilidad de que el prototipo se pueda adaptar con mayor facilidad a la forma de la mano de los usuarios, y de igual manera medir el nivel de rigidez que el material le puede brindar al dispositivo de apoyo.

Para esta prueba de prototipado se planteó el uso de un material especial para impresión 3D, llamado FLEX.

Este es un material flexible, de propiedades similares a la silicona sólida. Debido a su flexibilidad, FLEX ha abierto una serie de posibilidades en el campo de la impresión 3D y la manufactura aditiva [38].

Es el material que hizo posible crear productos de alta calidad con partes flexibles. Cuando el FLEX se deforma, no se colapsa y conserva sus propiedades, lo que distingue a ese material de los plásticos ABS y PLA [38].



Fig. 51. Prototipo de Impresión 3D de las partes rígidas en FLEX.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

## Resultados del prototipo

Con la impresión de las mismas piezas en este material se pudieron observar ciertos cambios en comparación al prototipo del material anterior. El primer aspecto que se evidenció, como se muestra en la Figura 51, la estructura del dispositivo se adapta mucho más a la anatomía de la mano.

De igual manera, cabe recalcar que este era mucho más gentil con la estructura de la mano, ya que el mismo no generaba tanta presión en la zona del Cúbito y el la parte que rodea el dedo pulgar.

Además de esto, los extremos de la órtesis no molestaban el antebrazo ni la palma de la mano ya que no se clavaba en estas zonas como lo hacía el prototipo de ABS.

Sin embargo, es muy importante tomar en cuenta que el prototipo no brindaba la misma rigidez a la muñeca que brindaba el primer prototipo. Esto se debe a que permitía leves movimientos en la articulación, de manera que no era tan efectiva en este sentido.

Este, al ser un material más delicado no se recomienda la implementación de estructuras reticuladas ya que se podría rasgar.



Fig. 52. Prueba del segundo prototipo impreso en 3D.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

## Toma de decisiones

La realización de los dos prototipos distintos y las pruebas con usuarios, permitió observar una serie de aspectos que son muy importantes por tomar en consideración.

El primer aspecto importante es el diseño a la medida de los dispositivos. **La diferencia en la adaptación a la anatomía de los usuarios que brindaban ambos materiales** era sumamente notoria, esto debido a que el material rígido molestaba la piel en la zona de los bordes del dispositivo. Además de esto, generaba presiones indebidas en ciertos huesos y distintas zonas. Mientras que el material flexible se moldeó a la forma de la mano sin mayor inconveniente.

Seguidamente, **la resistencia de los materiales en cuanto a estructura** reticulada también representó una gran diferencia. El material flexible, a pesar de ser muy resistente, puede llegar a rasgarse si se incluyen agujeros con terminaciones muy angulares, esto según la recomendación del encargado de impresión, el profesor Fabián Porrás Jiménez. Al contrario del material rígido que no presenta este mismo problema en cuanto a la resistencia de sus fibras.

Del mismo modo, otro aspecto importante a tomar en cuenta fue **la estabilidad que los materiales le brindaban a la muñeca**, ya que el material flexible permitía algunos movimientos leves de la articulación. Mientras que, por otro lado el prototipo en ABS restringía el movimiento de la misma sin ningún problema.

Gracias a la evaluación minuciosa de estas cualidades importantes, se procedió a elegir cuál era el material más apropiado para realizar el diseño.

El prototipo seleccionado fue el impreso en material flexible, principalmente por su fácil **adaptabilidad y suavidad**.

Como se mencionó, para el proyecto es muy importante la realización de diseños personalizados a la medida. De esta forma, este material asegura una mayor adaptación a la anatomía de los usuarios y mayor **facilidad de manejo** ya que al ser moldeable, permite que el usuario se lo coloque de una manera más eficiente.

Del mismo modo, este es mucho más gentil ya que hay un menor riesgo de provocar lesiones, ya sea por los bordes del dispositivo o también presiones en zonas indebidas.

En cuanto a la rigidez, esta se puede aumentar incrementando el espesor de las paredes del dispositivo o mediante la **implementación de nervaduras** a lo largo de la estructura. De igual forma, estas nervaduras pueden ayudar a promover la transpiración ya que las nervaduras pueden crear espacios que permitan el paso del aire.

De esta manera, las ventajas que la estructura flexible posee en comparación a la estructura rígida, permiten asegurar que el diseño será mucho más **cómodo y seguro** para los usuarios. Todo esto con el objetivo de ayudar a disminuir los síntomas generados por el Síndrome del Túnel Carpiano.

## Adaptación al material

Con el fin de adaptarse de la mejor manera al material seleccionado, se plantearon 3 propuestas de posibles estructuras del dispositivo. De esta manera se pretendía tener certeza de que el mismo se adaptaría al sistema de manufactura establecido (impresión 3D), generando la menor cantidad de costos posibles.

En la Figura 53 se muestra la primera alternativa. La misma está compuesta por una sola pieza, constituida en su totalidad en material flexible.

La segunda alternativa está hecha, al igual que la propuesta anterior en material FLEX, pero la misma se divide en dos piezas que se pueden imprimir por separado como se muestra en la Figura 54.

Por último, la última propuesta está dividida igualmente en dos piezas, pero estas hechas dos materiales distintos. El segmento que va en la parte externa de la mano se fabricaría en material rígido y el resto en material flexible como se puede observar en la Figura 55.

Gracias a esto, se pudo concluir que la alternativa más eficiente era la primera. Esto se debe a que la misma se podía producir en un solo tracto de impresión, permitiendo de esta manera reducir costos. Así mismo, es importante tomar en cuenta que las estructuras divididas en dos partes, requerirían de la implementación de sistemas de uniones. Esto complicaría el sistema de producción y aumentaría consecuentemente los costos de fabricación del producto.

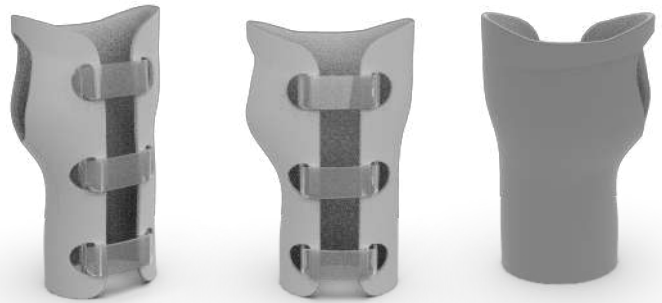


Fig. 53. Primera alternativa estructural adaptada al material flexible.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

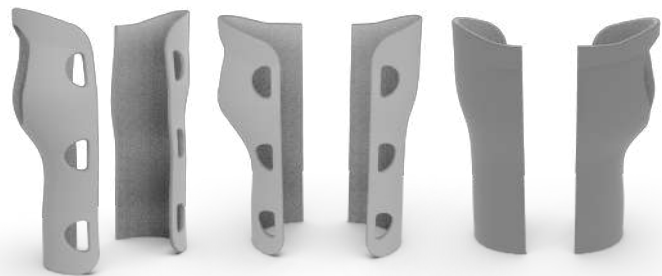


Fig. 54. Segunda alternativa estructural adaptada al material flexible.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

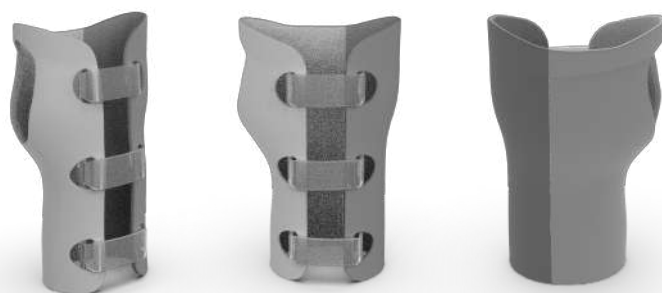


Fig. 55. Tercera alternativa estructural adaptada al material flexible.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

# **10.**

# **Propuesta y prototipo final**

## Propuesta de diseño

El diseño final del dispositivo médico está fabricado en un material flexible. Este le permite adaptarse a la anatomía de la mano de la persona usuaria del producto.

La estructura consiste en una sola pieza con extremos redondeados y superficies continuas para que sea gentil con la piel y la estructura ósea de los posibles usuarios.

Asimismo, con el fin de brindar mayor rigidez a la misma y proporcionar una mejor ventilación, esta posee cuatro nervaduras que atraviesan el dispositivo longitudinalmente. Dos de estas en la parte frontal y las otras dos en la parte trasera del mismo.



Fig. 56. Dispositivo de apoyo para tratamiento conservador del STC.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

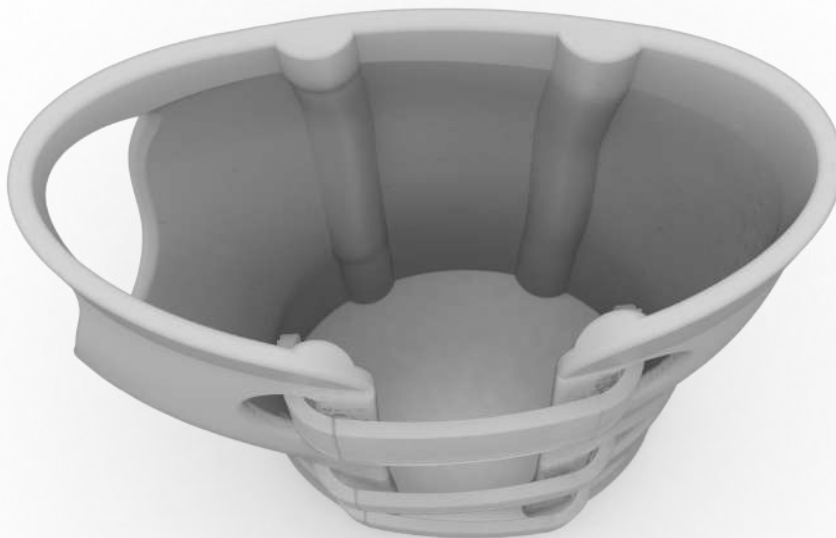


Fig. 57. Nervaduras del dispositivo de apoyo.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

# Sistemas

Como se determinó anteriormente, el dispositivo de apoyo está compuesto por los siguientes subsistemas:

- Sistema de soporte
- Sistema de seguridad
- Sistema de protección

## Sistema de soporte

Este es el encargado de brindar rigidez a la muñeca e impedir los movimientos de flexión y extensión que esta pueda generar con ayuda de las nervaduras. Del mismo modo, el diseño personalizado le brinda un mejor ajuste al contorno de la mano, permitiendo que este sea más cómodo. La apertura del dedo pulgar pretende brindar una mejor sujeción del dispositivo con el propósito de que esta no se salga de su posición.

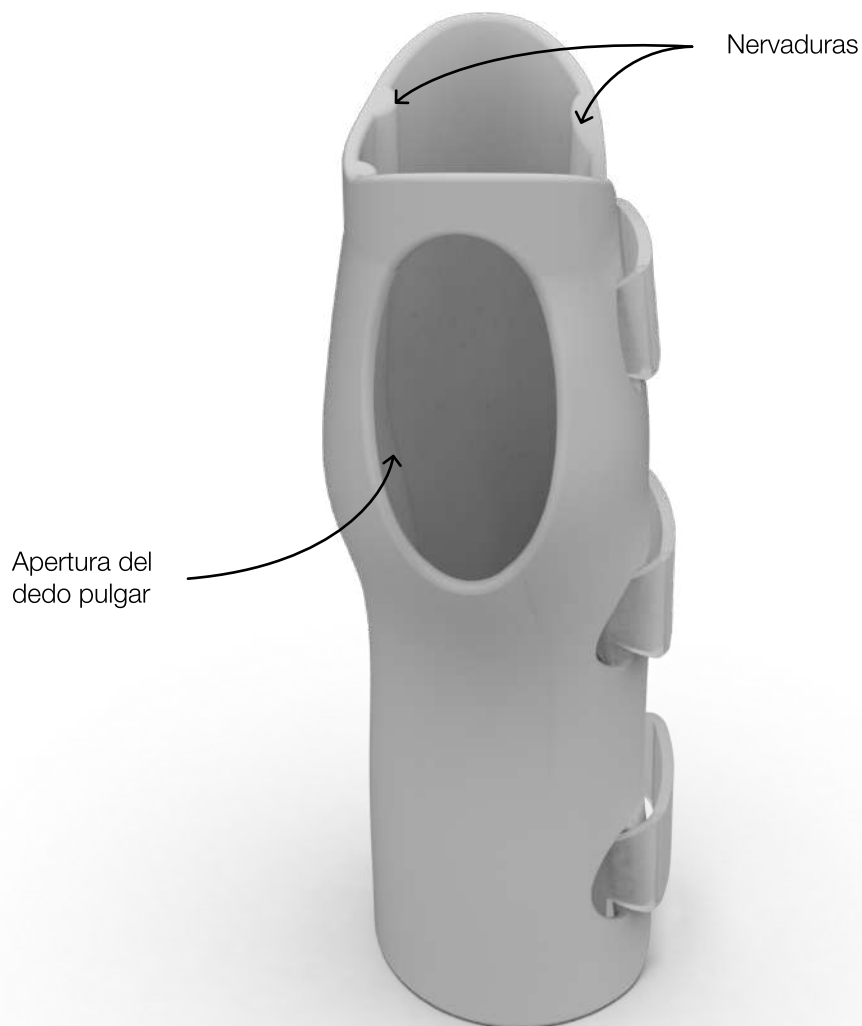


Fig. 58. Sistema de soporte del dispositivo de apoyo.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

### **Sistema de seguridad**

La función principal de este sistema es asegurar que el dispositivo no se vaya a desajustar mientras el usuario lo utilice. El mismo debe permitir, por medio de **las tres bandas** del sistema de cierre, mantener una compresión constante y prolongada. Dichas bandas, también pueden ser personalizadas de acuerdo a las dimensiones anatómicas del usuario, con el objetivo de brindar una mejor compresión.



Fig. 59. Sistema de seguridad del dispositivo de apoyo.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

### **Sistema de protección**

Este sistema posee la función de proteger la anatomía y la integridad de los usuarios del dispositivo de apoyo. Mediante la utilización de materiales flexibles y suaves, se asegura que el contacto con la piel sea gentil. Del mismo modo, evita que los bordes del producto se claven en el brazo o la mano de las personas. Asimismo, las nervaduras pretenden aumentar la transpiración y evitar que se generen presiones innecesarias en zonas indebidas, las cuales puedan llegar a provocar molestias o la aparición de enfermedades en la piel.

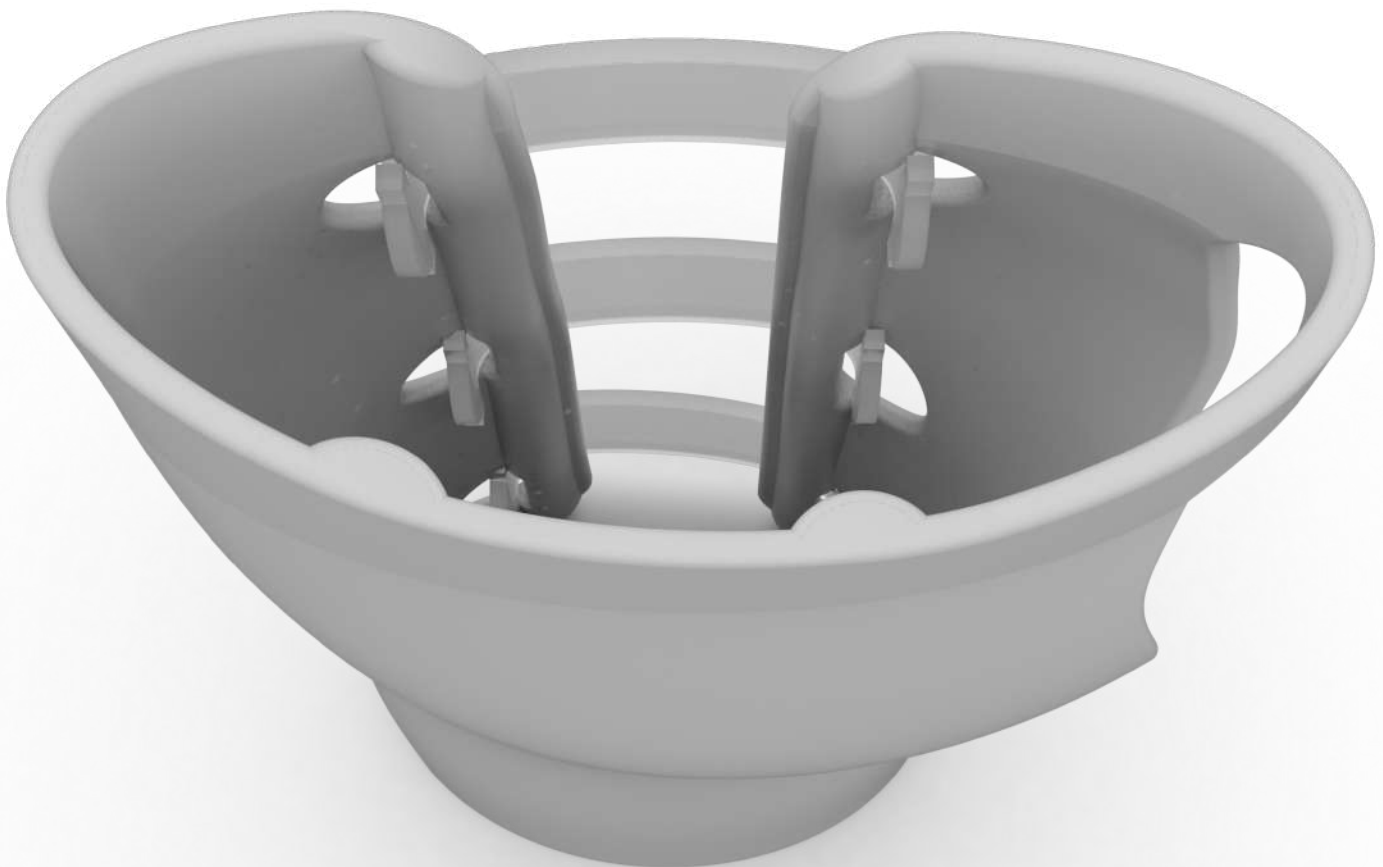


Fig. 60. Sistema de protección del dispositivo de apoyo.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

# **10.1**

## **Propiedades**

# Propiedades según la masa

Con la ayuda de la herramienta de modelado utilizada, se logró determinar las siguientes cualidades importantes del dispositivo de apoyo diseñado:

Propiedades	
<b>Masa</b>	65.00 gramos
<b>Volumen</b>	65003.07 mm <sup>3</sup> / 65.00 cm <sup>3</sup>
<b>Área de superficie</b>	65658.45 mm <sup>2</sup> / 656.59 cm <sup>2</sup>
<b>Centro de masas (mm)</b>	X = -10.85, Y = -7.68, Z = 128.83
<b>Ejes principales de inercia</b>	( gramos * milímetros cuadrados ) Medido desde el centro de masa. Ix = (-0.02, 1.00, -0.05) Px = 51585.68 Iy = (-1.00, -0.02, 0.03) Py = 119755.67 Iz = ( 0.03, 0.05, 1.00) Pz = 135867.21

Tabla. V. Propiedades físicas del dispositivo.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

## Simulaciones

Con el objetivo de determinar la resistencia de la estructura del producto, se realizó un análisis y simulación de distintos tipos de resistencia en el software de modelado SolidWorks. En esta simulación se sometió el dispositivo a una fuerza externa hacia afuera de hasta 10 N ( $\approx 1,02$  Kg).

Gracias a estas simulaciones se pudo determinar que la estructura y el material eran bastante resistentes. Estos poseen la capacidad de soportar las fuerzas de tensión generadas por los movimientos de la mano sin deformarse, rasgarse, o sufrir otro tipo de daños en su estructura.

Dichos análisis y los resultados de las simulaciones, se pueden observar en la Figura 62 que se muestra a continuación.

Desplazamiento estático

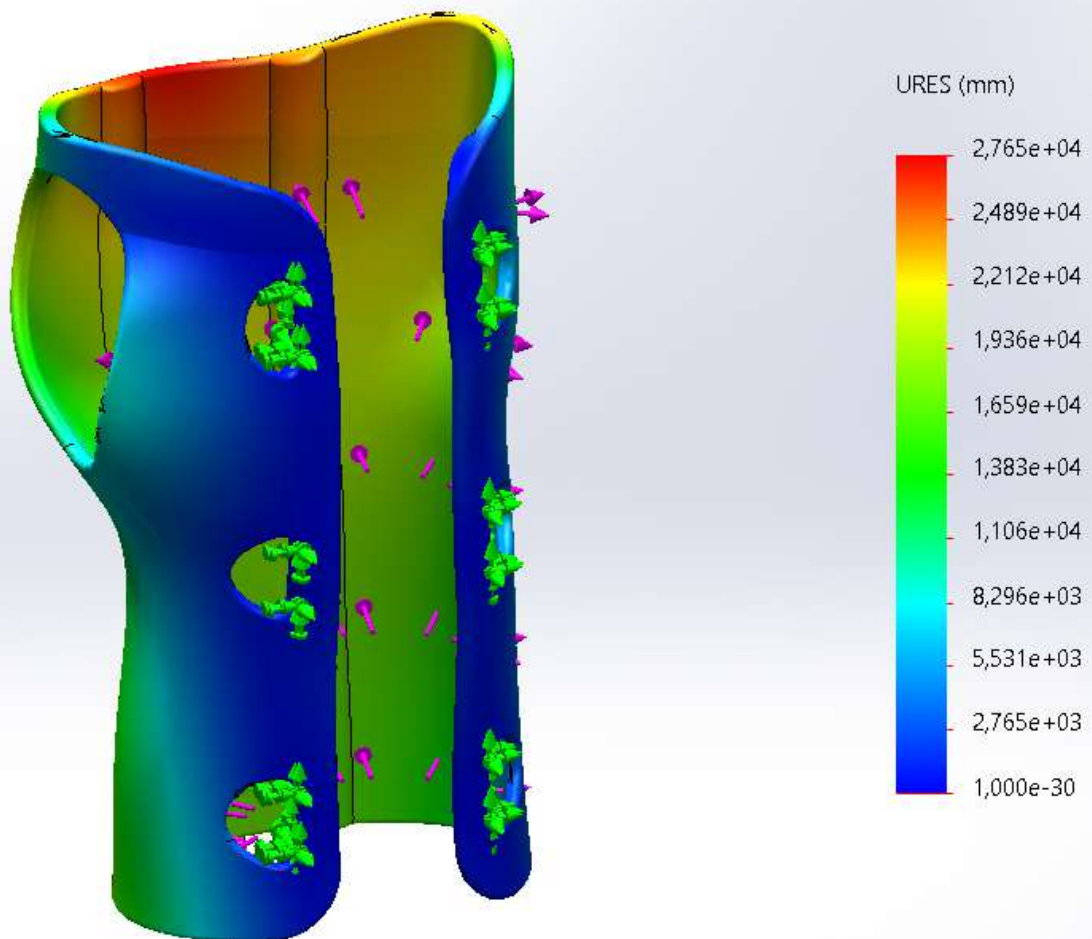


Fig. 61. Deslizamiento estático.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

# Simulaciones

Deformación por desplazamiento

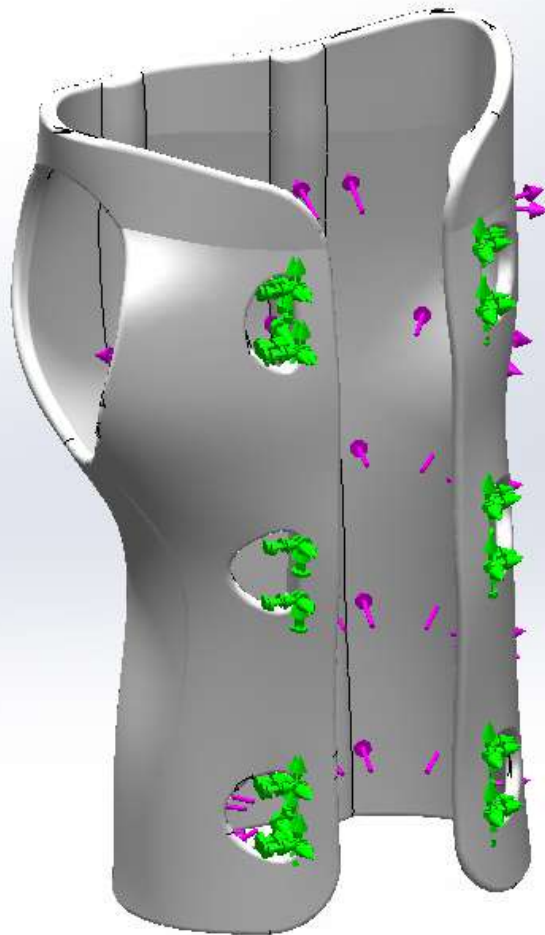


Fig. 62. Deformación por desplazamiento.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

# Simulaciones

Análisis estático de tensión nodal

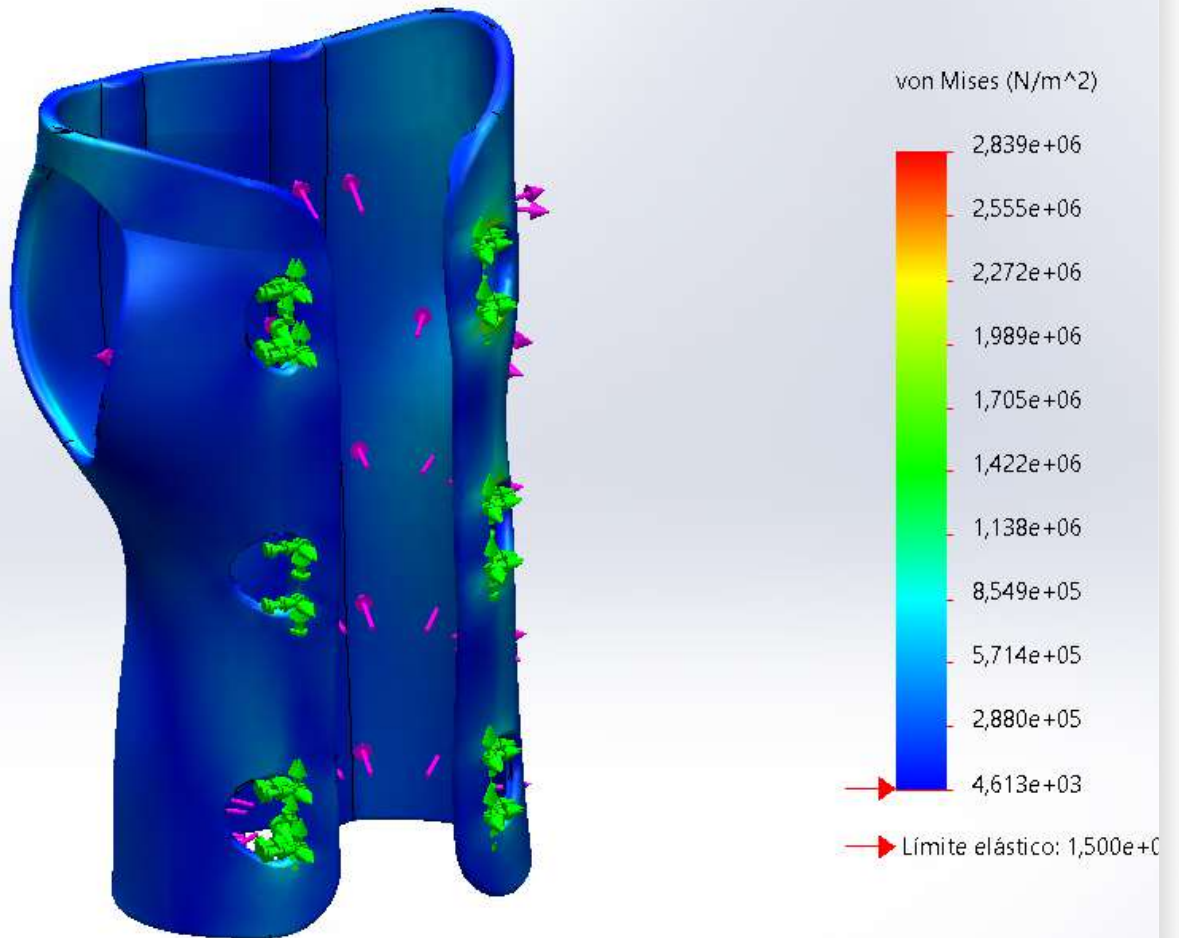


Fig. 63. Análisis estático de tensión nodal.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

# Simulaciones

Deformación unitaria estática

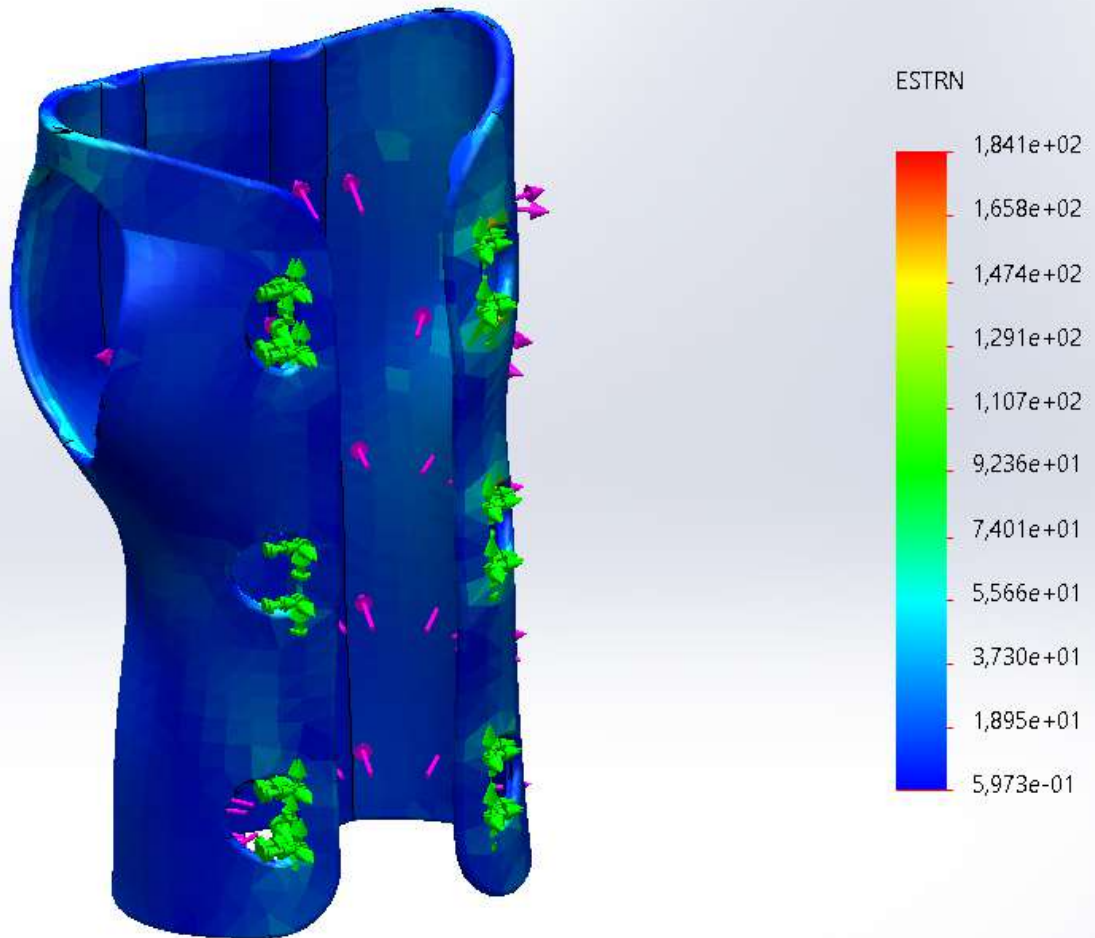


Fig. 64. Deformación unitaria estática.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

# **10.2**

## **Prototipo**

### **final**

## Estructura del dispositivo

A continuación, se muestra el resultado final del producto impreso en 3D, desde distintos puntos de vista con el propósito de apreciar todas sus características:



Fig. 65. Modelo funcional.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

## Estructura del dispositivo



Fig. 66. Estructura del modelo funcional.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

# **10.3**

## **Validación de la propuesta**

## Pruebas con usuarios reales

Ver evidencias en Anexos 3

Se realizaron pruebas con usuarios reales utilizando el dispositivo impreso en 3D. Las mismas tenían el objetivo de comprobar la rigidez que el mismo puede brindarle a la mano, así como también la facilidad de uso y el nivel de comodidad que genera.

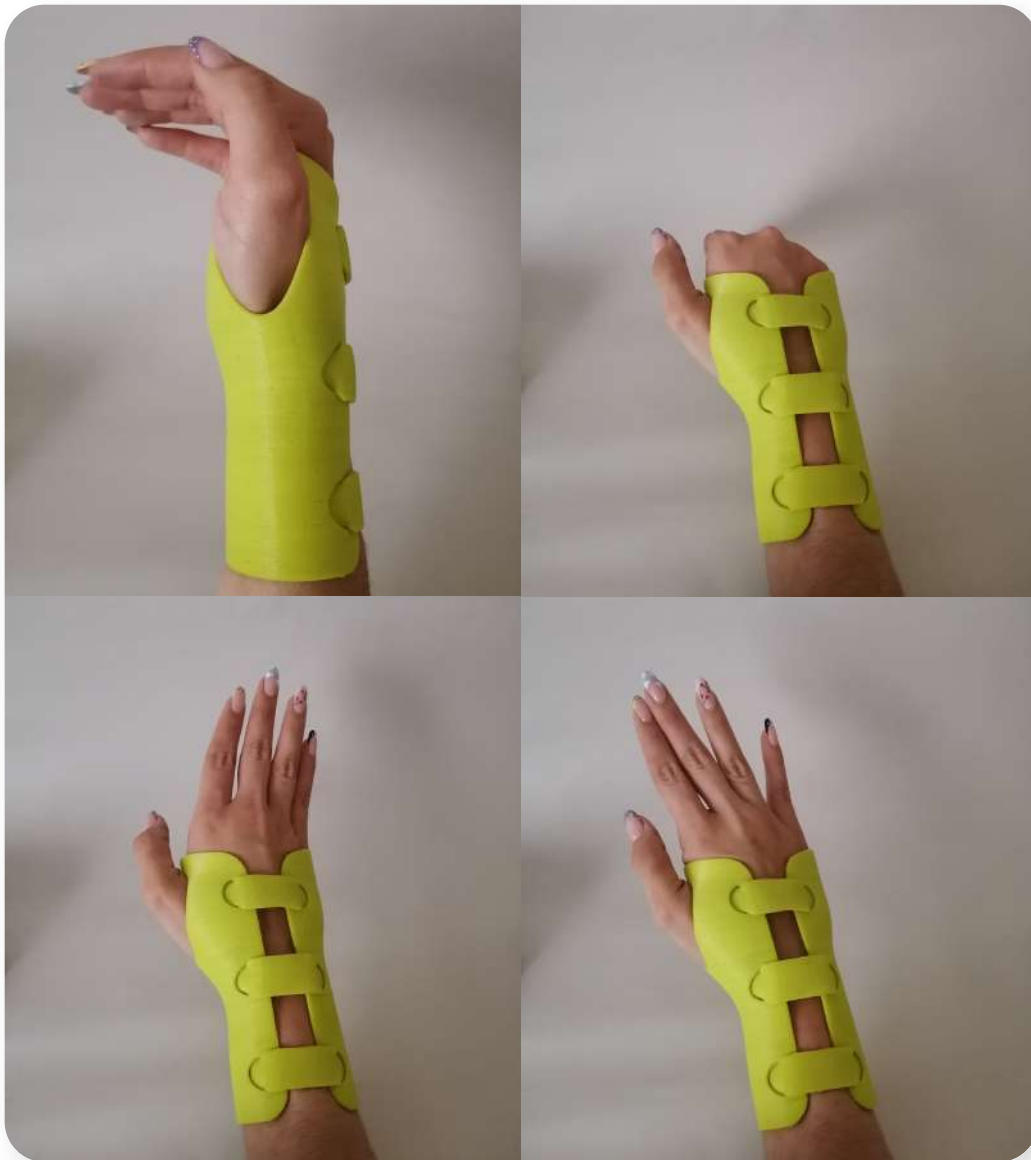


Fig. 67. Validación de la propuesta.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

## Resultados

Las pruebas realizadas permitieron concluir que el dispositivo, a simple vista posee una **apariciencia agradable** para los usuarios ya que tiene un aspecto moderno y en general su estructura no es compleja. Lo anterior vuelve el dispositivo atractivo ya que se percibe como ligero y moderno a la vez, pero muy intuitivo de utilizar.

Por otra parte, se pudo determinar que el producto de apoyo diseñado si cumple con su función principal. De esta forma, el mismo **permite que la muñeca se mantenga en posición neutral** aunque el usuario realice movimientos o tareas con la mano afectada por el síndrome. Debido a esto, evita que se realicen movimientos de flexión y extensión, o que se mantengan posturas inadecuadas por periodos extensos.

Además de esto, es importante rescatar que según los usuarios el mecanismo de cierre es intuitivo y el mismo no se desajusta con facilidad, por lo que **permite mantener la posición de la muñeca con una compresión estable de forma prolongada**. Asimismo, se comprobó que las bandas se pueden dejar colocadas de uno de los extremos del dispositivo, esto como una alternativa centrada en que no se extravíen, ya que las mismas no se desajustan ni se salen de su posición con facilidad.

El diseño del dispositivo **se adapta con facilidad a la anatomía** de la persona gracias a la flexibilidad del material. De igual manera este atributo permite que los pasos de uso, principalmente colocar la mano en el dispositivo y quitarla, sean procesos bastante sencillos ya que este se extiende.

Por otra parte, es importante tomar en cuenta que el **acabado del material es gentil al contacto con la piel**, gracias a que las fibras son muy delgadas y los bordes están bien redondeados. Además de esto, los bordes del producto no se clavan en la piel como lo pueden llegar a hacer otros materiales poliméricos más rígidos. De igual manera, los extremos de las bandas no generan presión en la piel gracias a que las nervaduras delanteras evitan que suceda.

Sin embargo, el acabado obtenido en el modelo funcional siempre se puede mejorar tomando en cuenta una serie de factores. El principal factor por tomar en cuenta es la **calibración de la máquina**, ya que esta permite obtener una impresión más exacta y por ende un acabado más suave en la superficie. Asimismo, es importante almacenar el material en lugares con poca humedad, esto con el propósito de que las fibras tengan una mejor adhesión y uniformidad cuando se realiza el proceso de impresión 3D.

# **10.4**

## **Gradiente de mejora**

El diseño a la medida, a pesar de tener un costo un poco más elevado al de los otros productos, ofrece una amplia gama de ventajas que permiten que este producto se diferencie de los que existen actualmente en nuestro país.

Las órtesis fabricadas en la actualidad, determinan su tamaño por tallas al igual que la ropa, pero según la opinión tanto de expertos como también de posibles usuarios, existen muchas personas que según su anatomía se localizan en medio de estas tallas. Esto genera que la compresión que debe recibir la muñeca sea inapropiada y del mismo modo, la estabilidad que esta debe tener se vuelve insuficiente. Provocando a la vez, que el uso de estos dispositivos resulte incómodo y un proceso poco agradable.

El diseño a la medida de esta forma, garantiza una **compresión efectiva** en la muñeca, lo cual permite que el síndrome no empeore. Además, este minimiza las dolencias generadas por el mismo debido a que permite la desinflamación del túnel.

Asimismo, la longitud que poseen las órtesis actuales no se adecúa a todas las personas como consecuencia de las tallas estandarizadas que se utilizan. Esto incrementa la incomodidad en las personas a la hora de utilizar el dispositivo.

El dispositivo diseñado a la medida, se adapta a la longitud del antebrazo **brindando una mayor firmeza y comodidad óptima**. Esto sucede según la opinión del Ortopedista Castro Artavia, ya que está determinado que entre menor sea el área de trabajo, mayor es el estrés que se genera en las articulaciones. O por el contrario, si la longitud es muy amplia, puede generar mucha incomodidad y presión en zonas indebidas.



Fig. 68. Gradiente de mejora.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

Por otra parte, los sistemas de ajuste y cierre que se implementan actualmente en los productos existentes, no mantienen una compresión constante de manera prolongada. Esto se debe a factores como el desgaste y la pérdida de fuerza de adhesión que poseen, como pasa por ejemplo con el velcro y las bandas elásticas de tela. Este problema complica como consecuencia de que dichos mecanismos no pueden ser reemplazados al deteriorarse, por lo que la persona usuaria debe optar por adquirir un nuevo dispositivo de apoyo. Dicha consecuencia puede resultar poco agradable para los usuarios, por el gasto imprevisto que representa.

Las bandas que posee el dispositivo de apoyo diseñado, mantienen una **compresión efectiva de forma prolongada** ya que no se desajustan. Esto se debe a que al material utilizado en su fabricación es resistente y no se deforma. Del mismo modo estas son fáciles de manipular y **pueden ser reemplazadas fácilmente** en caso de deterioro o extravío, sin necesidad de tener que comprar una nueva órtesis, lo cual disminuye los gastos que los usuarios podrían llegar a tener.

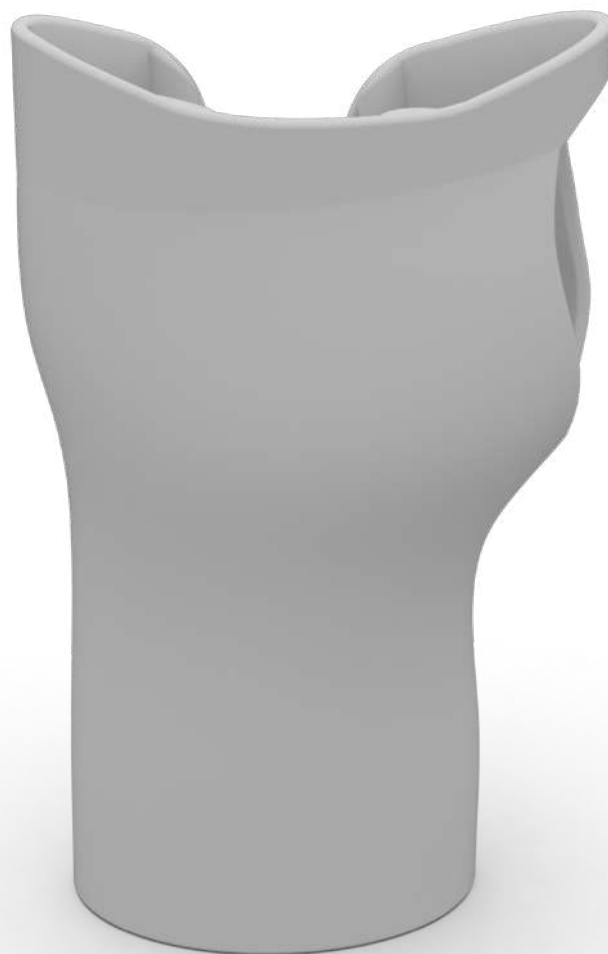


Fig. 69. Gradiente de mejora de los cierres.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

## Valor agregado

Al estar el dispositivo fabricado en materiales flexibles que **no absorben la humedad**, permite ser utilizado mientras se realizan actividades cotidianas que pueden parecer simples pero son muy dolorosas para las personas que padecen este síndrome. Entre estas tareas se encuentra por ejemplo el sacar ropa de la lavadora y colocarla dentro de la secadora. El producto permite combatir esta problemática mediante la **reducción del dolor que se genera en la muñeca**, gracias a que tareas como esta, ameritan de una excesiva cantidad de movimientos tanto de flexión como también de extensión.

Asimismo, la utilización de dichos materiales y este proceso de manufactura, permiten que el producto tenga un **mejor acabado**. Esto le permite ser más estético e incluso tener inscripciones personalizadas en el mismo. Todo esto con el propósito de que los usuarios se sientan más a gusto y seguros mientras lo utilizan. Además de esto, los materiales utilizados son **fáciles de limpiar**, no se manchan con frecuencia y es casi nula la probabilidad de que absorban malos olores

Por último, otro importante aspecto que cabe recalcar es el **diseño ligero y compacto** del producto. La reducción del material utilizado, permite que los usuarios realicen las tareas con mayor comodidad y confianza, ya que se disminuye la fatiga que podían provocar otros productos disponibles en el mercado nacional debido al peso del mismo.



Fig. 70. Valor agregado de la propuesta.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

# **10.5**

## **Manual de uso**

Ver manual completo en Anexos 5

# Manual de uso

Dispositivo de apoyo para la muñeca, dirigido a personas con síndrome del túnel carpiano



## Descripción general

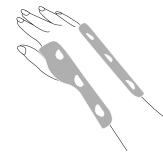
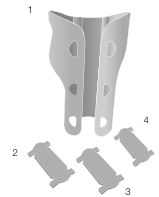
Este dispositivo se utiliza en la muñeca, con el objetivo de mantenerla en posición neutral y reducir los efectos generados por el Síndrome del Túnel Carpiano. Todo esto mediante la generación de una compresión adecuada en la articulación, la cual permita que se disintame en túnel.

Este dispositivo se emplea como tratamiento conservador, cuando el síndrome se clasifica como leve-moderado. En este manual se explicará el protocolo de uso adecuado del producto.



## Paso 1

Sacar las cuatro piezas que conforman el producto. Estas son, la órtesis y las 3 bandas elásticas del mecanismo de cierre.

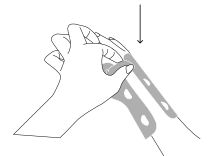


## Paso 2

Tomar la órtesis y colocar la mano afectada con el padecimiento dentro de esta. De manera que el dedo pulgar quede en el agujero lateral y la abertura en la parte superior de la mano.

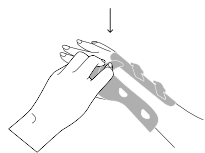
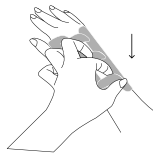
## Paso 3

Insertar el extremo de una banda en uno de los agujeros del dispositivo.



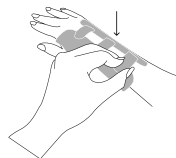
## Paso 4

Insertar un extremo de las otras bandas dentro de los agujeros del mismo lado.



## Paso 5

Insertar el otro extremo de la banda dentro del agujero del lado opuesto.

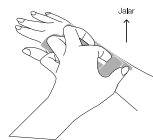


## Paso 6

Hacer lo mismo con las otras dos bandas en el orden que sea más conveniente.

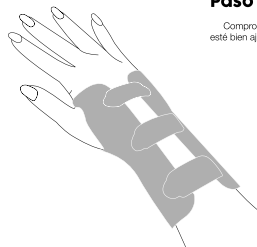
## Paso 7

Asegurarse de que las bandas estén bien colocadas y no se salgan de su posición.



## Paso 8

Comprobar que el dispositivo de apoyo esté bien ajustado de manera cómoda.



¡Gracias por utilizar el dispositivo de apoyo!



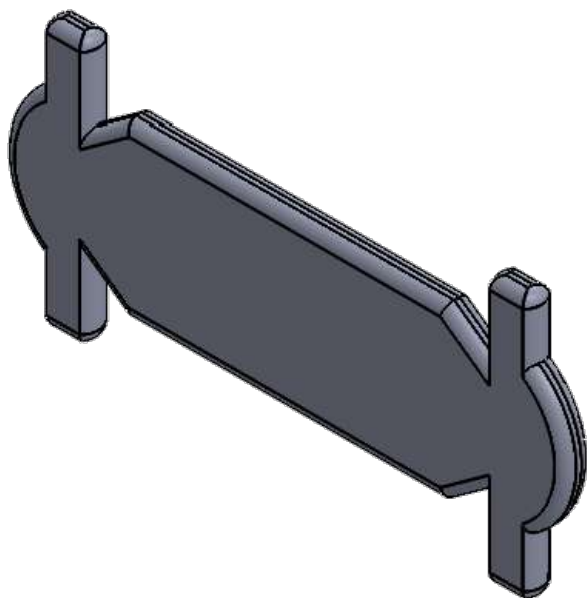
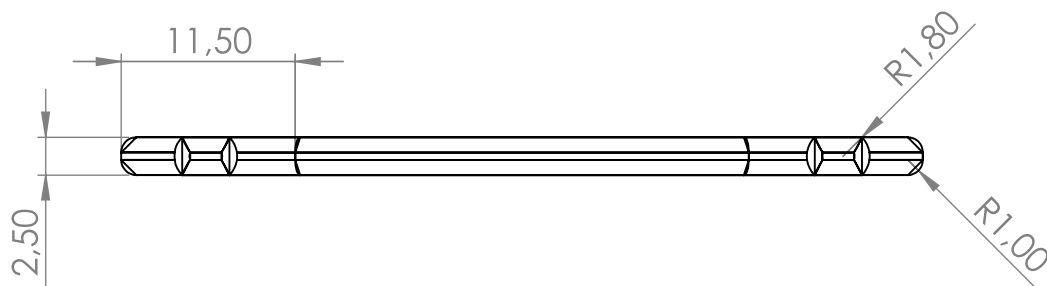
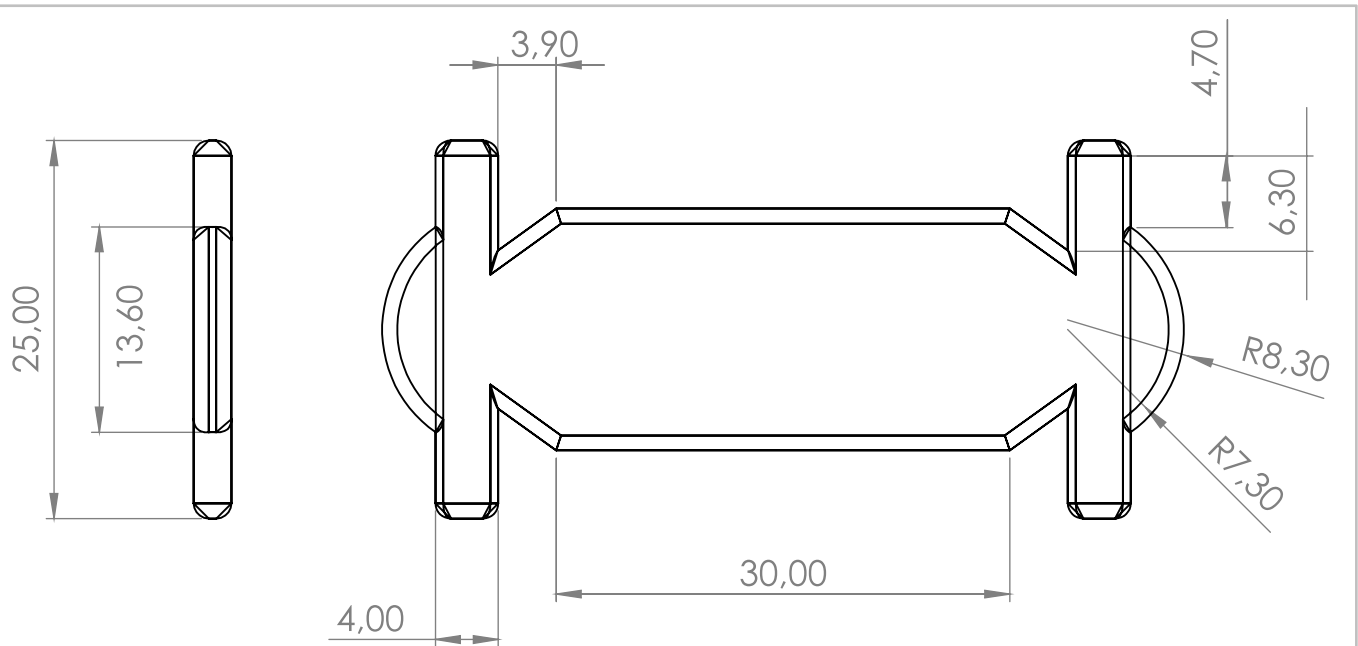
Fig. 71. Manual de uso.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

# 10.6

## Detalles de diseño

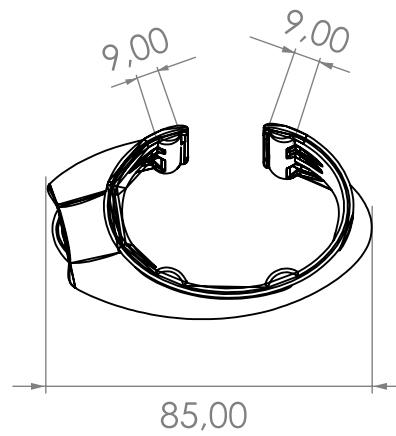
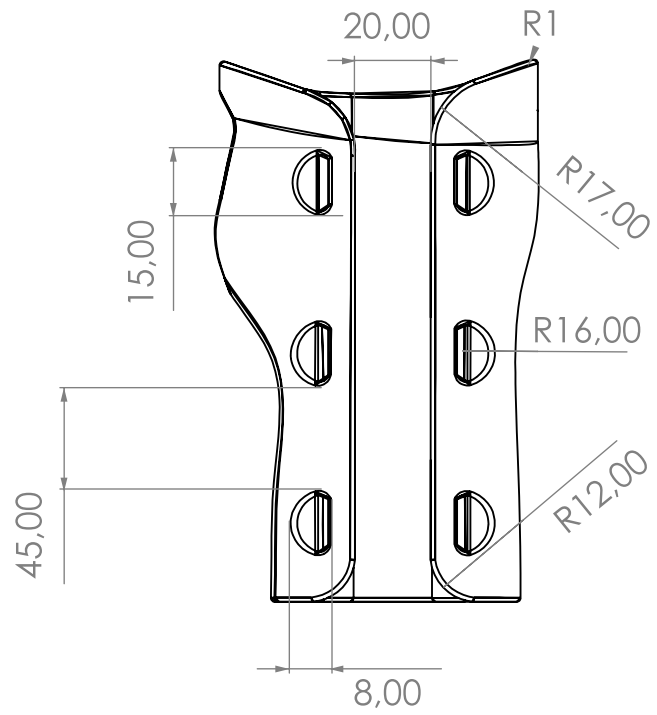
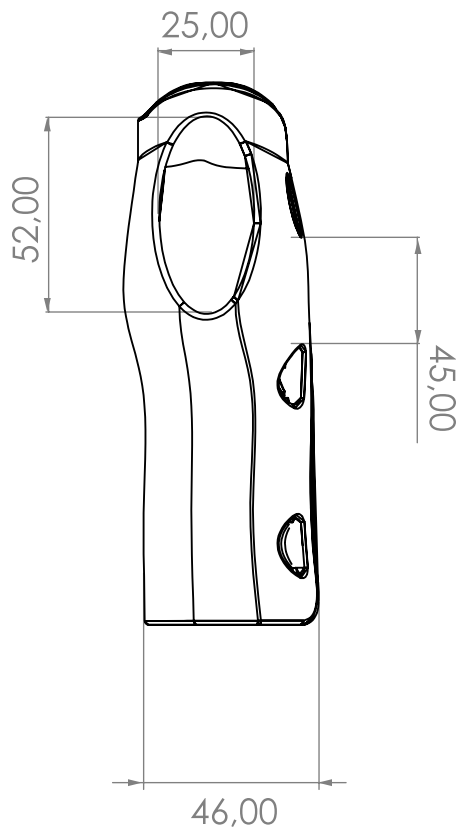
Las dimensiones de las piezas varían según la anatomía de cada persona.

Expresado en mm



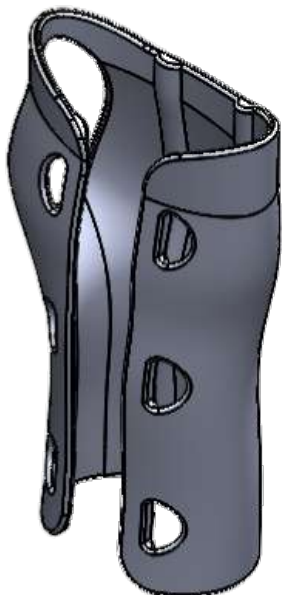
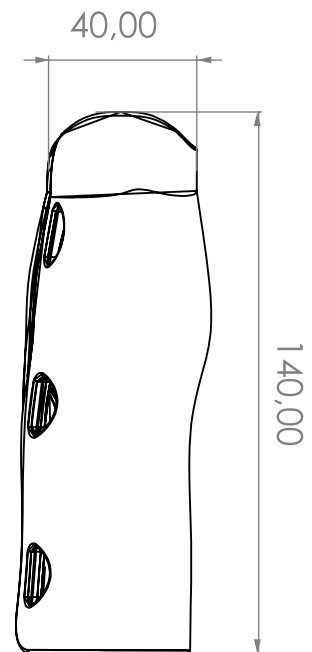
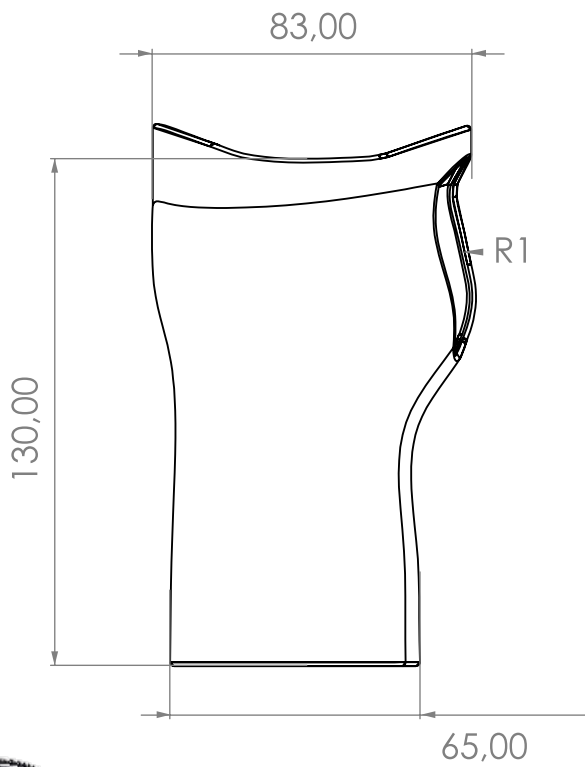
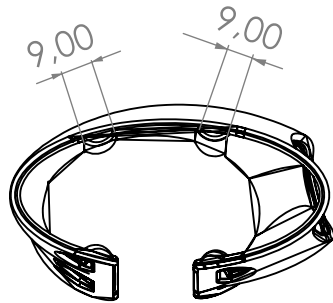
NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
TÍTULO: <b>Cinta</b>	
N.º DE DIBUJO	1
ESCALA:5:1	HOJA 1 DE 4

Expresado en mm



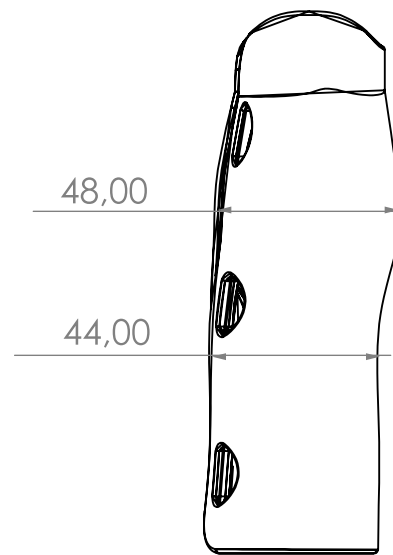
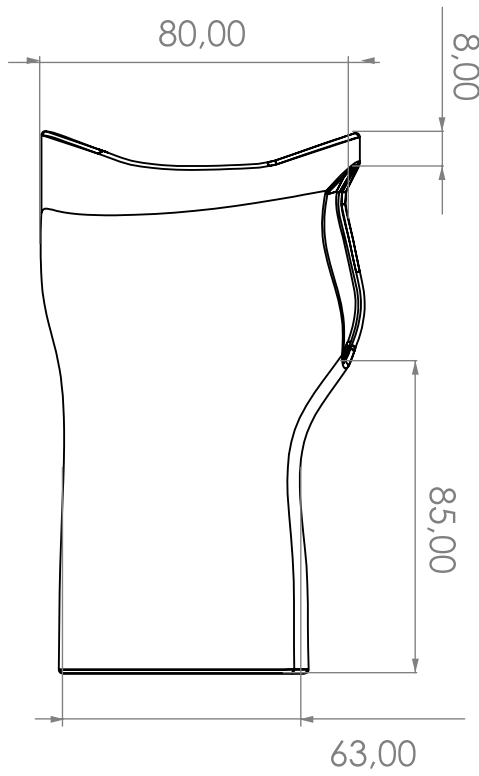
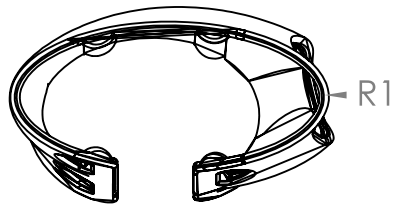
NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
TÍTULO: <b>Órtesis</b>	
N.º DE DIBUJO	2
ESCALA:1:2	HOJA 2 DE 4

Expresado en mm



NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
TÍTULO: <b>Órtesis</b>	
N.º DE DIBUJO	2
ESCALA:1:2	HOJA 3 DE 4

Expresado en mm



NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
TÍTULO: <b>Órtesis</b>	
N.º DE DIBUJO	2
ESCALA:1:2	HOJA 4 DE 4

# **11.**

# **Proceso de manufactura**

El proceso de manufactura del producto está basado principalmente en la **manufactura aditiva o impresión 3D**.

## inicio



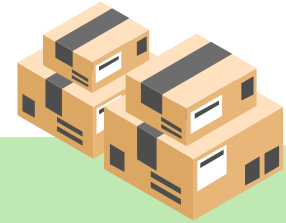
### Escaneo 3D

Se hace un escaneo 3D de la mano y muñeca de una persona para desarrollar un modelo estándar.



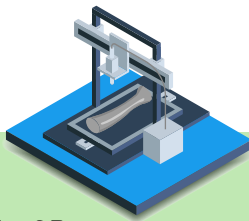
### Proceso de diseño

Se lleva a cabo la elaboración del modelo 3D estandarizado del dispositivo de apoyo.



### Búsqueda de materiales

Se compran los materiales y los insumos necesarios para la correcta fabricación del dispositivo médico.



### Impresión 3D

Cuando el modelo está listo se convierte a un archivo de tipo STL y se manda a la máquina de impresión.



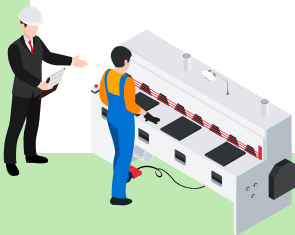
### Ajuste

Se realizan los ajustes necesarios para adaptar el dispositivo a la mano del usuario personalmente.



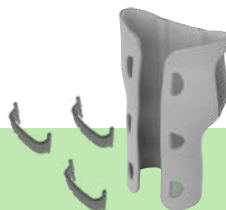
### Scanner 3D

Cuando el cliente está listo, se procede a realizar un escaneo 3D de su mano en posición neutral.



### Prueba de calidad

Se llevan los dispositivos impresos a una prueba de calidad para verificar que la impresión se realizara de manera correcta.



### Acabado

Se retiran los excesos de material en las piezas y se perfeccionan las piezas.



### Distribución

Se entrega el dispositivo a los usuarios, o bien, se envían a ellos empacados de manera segura.

**fin**

Fig. 72. Proceso de manufactura.  
Fuente: Elaboración propia, 2021.

# 12.

## Costos de fabricación

# Costos

<b>Material</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio</b>
Spool de TPU [39]	Net Weight: 1kg. Diameter: 1.75mm ±0.02mm. Shore Hardness: 95A. Recommended Nozzle Temperature: 215°-235°C, recommended heat bed settings: No heat/ 60°-80°C.	\$24.99
		<b>Costo del material utilizado en la pieza</b>
		\$ 1.99
		(0.080 Kg)
<b>Proceso de Impresión 3D</b>	Impresión de la pieza tomando en cuenta los sistemas de impresión y el tiempo que este toma, con la empresa de impresión 3D Pritonic. Cotización en Anexos 4.	\$ 24.55
		12 horas y 30 minutos
<b>Mano de obra [40]</b>	Realización del escaneo 3D. Personalización del modelo de acuerdo a la mano. Perfeccionado de detalles finales.	\$ 20.50
		Por 8 horas

## Total

\$ 47.04

# **13.**

# **Conclusiones**

## Conclusiones del proyecto

Gracias a la realización de este proyecto se puede concluir que el producto propuesto como dispositivo de apoyo dirigido a personas que padecen del Síndrome del túnel Carpiano, sí cumple con la función de dar soporte articular a la muñeca y disminuir la compresión del túnel. Este se ajusta a los parámetros establecidos por el diseño a la medida, adaptándose a las características anatómicas de los usuarios y por ende, brindándoles un tratamiento personalizado.

Sin embargo, cabe recalcar que aún hace falta realizar más validaciones de modelos adaptados a las características anatómicas de otros usuarios reales mediante el Scanner 3D, con el objetivo de comprobar que su usabilidad sea adecuada y especialmente verificar tanto el nivel de comodidad como también la adaptación al dispositivo que demuestran los usuarios.

Es importante recordar que este producto forma parte de los tratamientos conservadores que pueden ser recetados por los profesionales de la salud, con el propósito de disminuir los síntomas que genera el síndrome y del mismo modo que el padecimiento no empeore.

A pesar de esto, cabe tomar en cuenta que si después de 6 meses de utilizar el dispositivo de apoyo, los síntomas incrementan es necesario acudir al médico. Esto se debe a que el padecimiento puede pasar de ser leve-moderado a severo, y consecuentemente ameritaría la intervención quirúrgica como tratamiento.

Esta órtesis para muñeca, es la primera elaborada utilizando el diseño adaptado a la anatomía de las personas y del mismo modo fabricada por procesos de impresión 3D, de la cual se tiene conocimiento en el mercado nacional. De esta manera, brinda grandes posibilidades de exploración, así como también la colaboración con profesionales, con el fin de aumentar la oportunidad de comercialización de la misma.

Por último, se espera que el producto permita mejorar la condición de los pacientes que padecen el Síndrome del túnel Carpiano, mientras se crea una buena relación usuario-objeto. Todo esto con el objetivo principal de aumentar la comodidad y seguridad que estos poseen, sin que los dolores generados por dicho padecimiento, los limite de realizar sus actividades cotidianas con confianza.



# **14.**

# **Recomendaciones**

# Recomendaciones para proyectos análogos futuros

En el futuro, si se desea realizar otro proyecto de esta naturaleza, se recomienda durante la etapa de investigación y valoración de la propuesta, si la situación actual lo permite, y no existen restricciones sanitarias (COVID-19), realizar la mayor cantidad de pruebas con posibles usuarios. Esto con el propósito de determinar la adaptación que el dispositivo posee y la opinión de la mayor cantidad de personas acerca del mismo.

Además de esto, se podría considerar la implementación de otros materiales flexibles o parcialmente flexibles, que se adecúen a las características planteadas. El mismo debe estar disponible en el país y ser accesible, con el objetivo de permitir la implementación de retículas en algunas zonas específicas para favorecer la ventilación. Todo esto sin que el material se rasgue, ni se disminuya el soporte que se le brinda a la muñeca.

Asimismo, evaluar la implementación de cambios en la estructura que permitan reducir la cantidad de material utilizado, sin comprometer la estabilidad y la compresión que se le debe proporcionar a la articulación de la persona.

Por último, se recomienda someter el prototipo del dispositivo desarrollado, a pruebas mecánicas reales que permitan determinar la resistencia real de este. Del mismo modo, es importante calcular el límite elástico que posee el dispositivo como unidad.



## Recomendaciones de uso

- No utilizar el dispositivo más allá del tiempo recomendado por su especialista de salud.
- Se recomienda manejar el producto de manera cuidadosa con el fin de que el material no se deteriore con facilidad.
- Es recomendable mantener todas las partes almacenadas juntas en un lugar seguro para asegurarse de que no se extravíe ninguna de las piezas.
- Se debe comprobar que el dispositivo esté bien seco antes de almacenarlo.
- Tener cuidado al colocar y retirar las bandas elásticas dentro de los agujeros del dispositivo para que no se vayan a dañar.
- Limpiar bien el dispositivo siempre que este se ensucie para que se mantenga limpio.

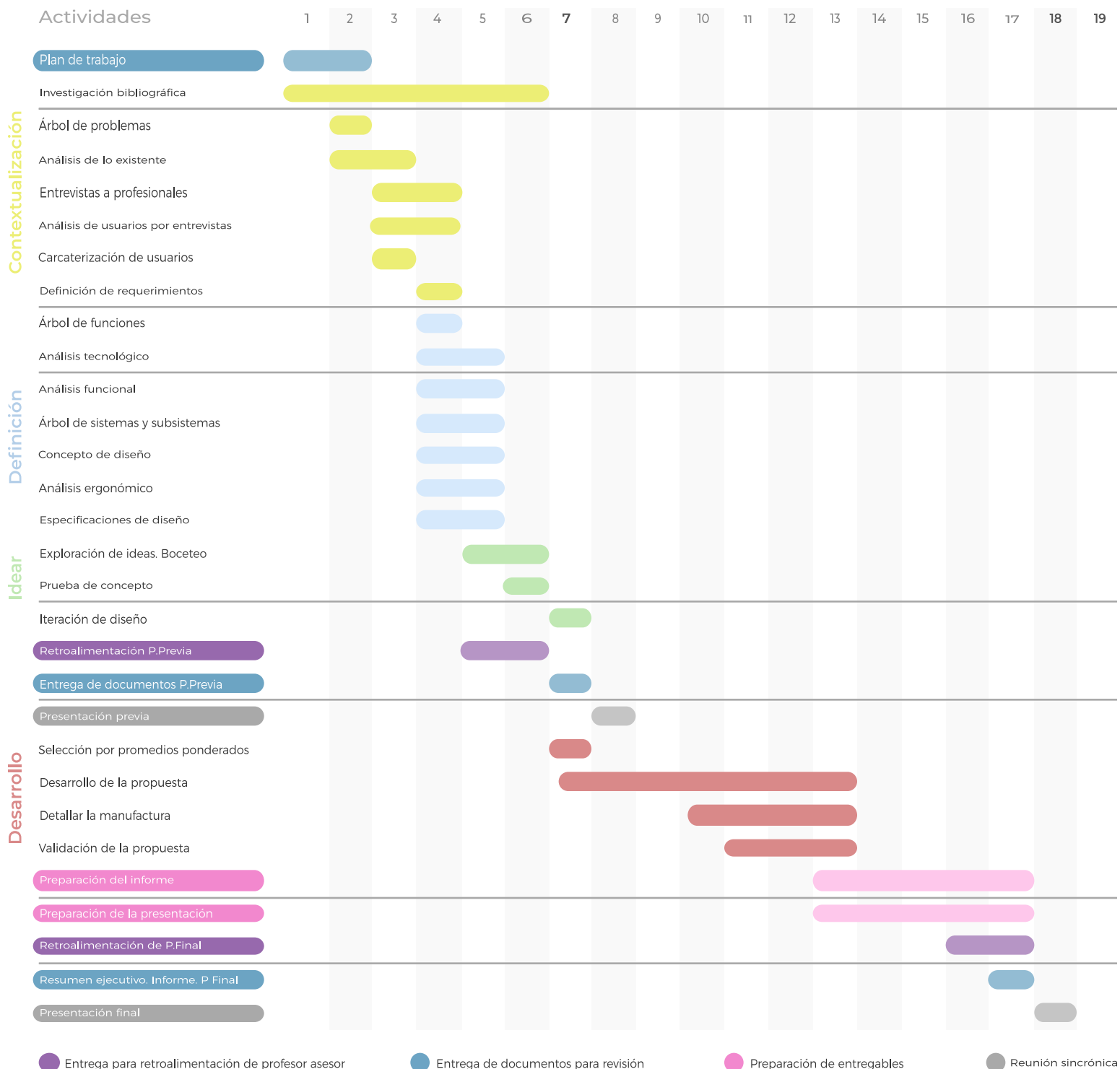


# **15.**

# **Cronograma**

# Cronograma TFG

2 Semestre 2021



# **16.**

# **Bibliografía**

- [1] F. E. Parra, L. H. Parra y P. V. Tisiotti, «Facultad de medicina,» 09 2007. [En línea]. Disponible en: <[https://med.unne.edu.ar/revistas/revista173/4\\_173.pdf](https://med.unne.edu.ar/revistas/revista173/4_173.pdf)> [Último acceso: 23 04 2021].
- [2] Velázquez, E., 2021. Síndrome del túnel carpiano. [En línea] Repositorio.una.ac.cr. Disponible en: <<https://repositorio.una.ac.cr/bitstream/handle/11056/8670/Tunel.pdf?sequence=4&isAllowed=y>> [Último acceso: 23 04 2021].
- [3] Arce, C., 2005. ORTESIS DE MIEMBROS SUPERIORES. [En línea] Arcesw.com. Disponible en: <[http://www.arcesw.com/o\\_m\\_s.pdf](http://www.arcesw.com/o_m_s.pdf)> [Último acceso: 23 04 2021].
- [4] Who.int. 2021. Regulation of medical devices. [En línea] Disponible en: <[https://www.who.int/medical\\_devices/safety/3\\_2.pdf?ua=1](https://www.who.int/medical_devices/safety/3_2.pdf?ua=1)> [Último acceso: 23 04 2021].
- [5] Fixs.me. 2021. Soluciones personalizadas. [En línea] Disponible en: <<https://www.fixs.me/>> [Último acceso: 23 06 2021].
- [6] 2016. Tratamiento conservador en pacientes con síndrome del túnel carpiano con intensidad leve o moderada. Revisión sistemática. [PDF] Valladolid: Universidad de Valladolid, Valladolid, España, p.5. Disponible en: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0213485316300949>> [Último acceso: 23 04 2021].
- [7] Arthrolink.com. 2021. Las órtesis y sus beneficios en pacientes con Osteoartritis. [En línea] Disponible en: <<https://www.arthrolink.com/es/tratamientos/los-aparatos/las-ortesis>> [Último acceso: 01 08 2021].
- [8] Vargas, A., 2015. 90% de pacientes con túnel carpal son mujeres. [En línea] La Nación. Disponible en: <<https://www.nacion.com/ciencia/salud/90-de-pacientes-con-tunel-carpal-en-costa-rica-son-mujeres/QK3CUP5VMNAGTP6732F7VEBSSA/story/>> [Último acceso: 01 08 2021]
- [9] Ortopédica Vital Plus Costa Rica. 2021. Muñequera con control de Movimiento - Ortopédica Vital Plus Costa Rica. [En línea:] Disponible en: <<https://vitalpluscr.com/product/munequera-control-de-movimiento/>>. [Último acceso: 01 08 2021].
- [10] Genesaret, O., 2021. Férula Túnel Carpiano. [En línea] Ortopédica Genesaret. Disponible en: <<https://ortogenesaret.minidux.com/products/85/ferula-tunel-carpiano>> [Último acceso: 01 08 2021].
- [11] Genesaret, O., 2021. Ortesis de muñeca. [En línea] Ortopédica Genesaret. Disponible en: <<https://ortogenesaret.minidux.com/products/87/ortesis-de-muneca>> [Último acceso: 01 08 2021].
- [12] Ortopédica, C., 2021. Férula Túnel Carpal Ambidiestra. [En línea] Chupis Ortopédica. Disponible en: <<https://www.chupisortopedica.com/products/117/ferula-tunel-carpal-ambidiestra>>. [Último acceso: 01 08 2021].
- [13] CONSULTORES INFORMATICOS R&A DE COSTA RICA SOCIEDAD ANONIMA. 2021. Muñequera con Soporte de Pulgar. [En línea] Disponible en: <<https://www.adntienda.com/shop/product/inn01011-munequera-con-soporte-de-pulgar-5823#attr=6956,6957>>. [Último acceso: 01 08 2021].
- [14] Ortopédica Vital Plus Costa Rica. 2021. Férula de Palma de Muñeca - Ortopédica Vital Plus Costa Rica. [En línea:] Disponible en: <<https://vitalpluscr.com/product/ferula-de-palma-de-muneca/>>. [Último acceso: 01 08 2021].
- [15] Chaves, D., 2012. Síndrome del túnel carpiano. REVISTA MEDICA DE COSTA RICA Y CENTROAMERICA LXIX, [En línea] (604) 523-528). Disponible en <<https://www.binasss.sa.cr/revistas/rmcc/604/art15.pdf>> [Último acceso: 01 08 2021].
- [16] García, G., Gómez, A. y González, E., 2009. Síndrome del túnel del carpo. [En línea] Proquest.com. Disponible en: <<https://www.proquest.com/docview/1677600279>> [Último acceso: 01 08 2021].

- [17] Muñoz, M. y Nicaragua, R., 2014. Un acercamiento a la brecha digital en Costa Rica desde el punto de vista del acceso, la conectividad y la alfabetización digital. *e-Ciencias de la información*, [En línea] (2060). Disponible en: <<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/eciencias/article/view/12866/12328>> [Último acceso: 01 09 2021].
- [18] Espanol.ninds.nih.gov. 2021. Síndrome del túnel carpiano | NINDS Español. [En línea] Disponible en: <<https://espanol.ninds.nih.gov/es/trastornos/sindrome-del-tunel-carpiano>> [Último acceso: 01 09 2021].
- [19] The Interaction Design Foundation. 2021. What is Design Thinking?. [En línea] Disponible en: <<https://www.interaction-design.org/literature/topics/design-thinking>> [Último acceso: 09 07 2021].
- [20] Robles, C., Iglesias, S., Allende, C., Rotella, P., Caloia, M. y Capomassi, M., 2019. Tratamiento conservador versus tratamiento quirúrgico de fracturas de estiloides cubital en el contexto de fracturas de radio distal. *Revista de la Asociación Argentina de Ortopedia y Traumatología*, [En línea] Disponible en: <<https://raaot.org.ar/index.php/AAOTMAG/article/view/879>> [Último acceso: 17 08 2021].
- [21] Ebelin, M., Soubeyrand, M. y Idrissi, R., 2011. Luxaciones carpometacarpianas. [En línea] *Science Direct*. Disponible en: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1286935X10708807>> [Último acceso: 17 08 2021].
- [22] Adeva, R., 2021. Todo lo que debes saber sobre la impresión 3D y sus utilidades. [En línea] *ADSLZone*. Disponible en: <<https://www.adslzone.net/reportajes/tecnologia/impresion-3d/>> [Último acceso: 17 08 2021].
- [23] Web.uchile.cl. 2004. *Revista Chilena de Terapia Ocupacional*. [En línea] Disponible en: <[http://web.uchile.cl/vignette/terapiaocupacional-aa/www.revistaterapiaocupacional.cl/CDA/to\\_simple/0,1374,SCID=14760%26ISID=498%26PR T=14191,00.html#:~:text=Se%20usan%20los%20termopl%C3%A1sticos%20de,en%20los%20pa%C3%ADses%20menos%20adinerados.&text=Ellas%20son%20f%C3%A1ciles%20limpiar%2C%20son,y%20duran%20un%20largo%20tiempo.](http://web.uchile.cl/vignette/terapiaocupacional-aa/www.revistaterapiaocupacional.cl/CDA/to_simple/0,1374,SCID=14760%26ISID=498%26PR T=14191,00.html#:~:text=Se%20usan%20los%20termopl%C3%A1sticos%20de,en%20los%20pa%C3%ADses%20menos%20adinerados.&text=Ellas%20son%20f%C3%A1ciles%20limpiar%2C%20son,y%20duran%20un%20largo%20tiempo.)> [Último acceso: 17 08 2021].
- [24] Mecanizadossinc.com. 2017. El Nylon es un plástico que se mecaniza -. [En línea] Disponible en: <<https://www.mecanizadossinc.com/en/nylon-plastico-se-mecaniza/>> [Último acceso: 17 08 2021].
- [25] Inyección de Plásticos | Plásticos Ascaso. 2021. Polipropileno: Qué es, propiedades y usos del PP. [En línea] Disponible en: <<https://plasticosascaso.es/polipropileno-que-es-propiedades/>> [Último acceso: 17 08 2021].
- [26] 2021, T., 2021. TPU. [En línea] *Treatstock.com*. Disponible en: <<https://www.treatstock.com/material/tpu>> [Último acceso: 17 08 2021].
- [27] R. Ávila, L. Prado y E. González, "Dimensiones antropométricas de la población latinoamericana : México, Cuba, Colombia, Chile", *Repository.usta.edu.co*, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/14486/2018sergioboh%C3%B3rquez4.pdf?sequence=6&isAllowed=y> [Último acceso: 23 08 2021].
- [28] ANATOMIA BIOMECANICA ANTROPOMETRIA 2", *3tecprevriesgos2010.files.wordpress.com*. [En línea]. Disponible: [https://3tecprevriesgos2010.files.wordpress.com/2011/09/anatomia-biomecanica-antropometria\\_2.pdf](https://3tecprevriesgos2010.files.wordpress.com/2011/09/anatomia-biomecanica-antropometria_2.pdf) [Último acceso: 23 08 2021].
- [29] O. Sánchez, L.C. Araya y M.E. Madriz. *Antropometría de la mano del adulto mayor*. Cartago, Costa Rica: ergo.TEC. 2014.

[30] Real Academia Española. 2021. Definición de adaptación. [En línea] Disponible en: <<https://dle.rae.es/adaptaci%C3%B3n?m=form>> [Último acceso: 03 10 2021].

[31] Real Academia Española. 2021. Definición de terapéutico, ca. [En línea] Disponible en: <<https://dle.rae.es/terap%C3%A9utico>> [Último acceso: 03 10 2021].

[32] Pfenniger, F., 2021. Resistencia por Geometría | Arquitectura en acero. [En línea] [Arquitecturaenacero.org](http://www.arquitecturaenacero.org). Disponible en: <<http://www.arquitecturaenacero.org/uso-y-aplicaciones-del-acero/soluciones-constructivas/resistencia-por-geometria>> [Último acceso: 02 10 2021].

[33] Boafit.com. 2021. The Boa® Fit System. [En línea] Disponible en: <<https://www.boafit.com/es-es/more>> [Último acceso: 02 10 2021].

[34] Lock Laces®. 2021. The Original Elastic No-Tie Shoelaces | Lock Laces®. [En línea] Disponible en: <<https://www.locklaces.com/>> [Último acceso: 02 10 2021].

[35] Simaro. 2021. Cordones de silicona elásticos, planos. [En línea] Disponible en: <<https://simaro.co/16pcs-facil-sin-cordon-zapatos-elastico-silicona-plana-perezoso-zapato-encaje-cuerda-cuerdas-adultos-1263913>> [Último acceso: 02 10 2021].

[36] Ergonautas.upv.es. 2021. ERGONOMICS RULER - Medición de ángulos en fotografías. [En línea] Disponible en: <<https://www.ergonautas.upv.es/herramientas/ruler/ruler.php>> [Último acceso: 04 10 2021].

[37] Mayo Clinic. 2021. Estilo de vida saludable, Salud del Adulto. [En línea] Disponible en: <<https://www.mayoclinic.org/es-es/healthy-lifestyle/adult-health/expert-answers/how-many-hours-of-sleep-are-enough/faq-20057898>> [Último acceso: 04 10 2021].

[38] 3dlaboratorio.es. 2021. Filamento FLEX 750 gr para impresión 3D. [En línea] Disponible en: <<https://3dlaboratorio.es/plastic-flex.htm>> [Último acceso: 29 10 2021].

[39] Cabetiesandmore.com. 2021. Creality® TPU 3D Printer Filament | Material Spool. [En línea] Disponible en: <<https://www.cabetiesandmore.com/creality-tpu-filament-3d-printing-spool>> [Último acceso: 29 10 2021].

[40] Mtss.go.cr. 2021. Salarios Mínimos Sector privado, Año 2021. [En línea] Disponible en: <[https://www.mtss.go.cr/temas-laborales/salarios/Documentos-Salarios/lista\\_salarios\\_2021.pdf](https://www.mtss.go.cr/temas-laborales/salarios/Documentos-Salarios/lista_salarios_2021.pdf)> [Último acceso: 29 10 2021].

# **17.**

# **Anexos**

# **Anexos 1**

# Entrevista 1

**Fabrizio Picado Chaves**

**Médico ortopedista especializado en muñeca y hombro**

**1. ¿Qué tipo de tratamiento conservador prefiere para tratar el síndrome de túnel carpiano?**

La utilización de férulas y los medicamentos para el dolor

**2. ¿Cuáles férulas recomienda para tratar este padecimiento y por qué?**

Recomiendo las férulas o muñequeras que mantengan la muñeca en una posición completamente neutra

**3. ¿Dentro de las férulas que conoce, cuáles oportunidades de mejora ha detectado?**

Cortas, no tan largas hacia la zona del antebrazo ya que pueden generar más incomodidad.



## Entrevista 2

**Luisana Ramírez**

**Fisioterapeuta**

**1. ¿Qué tipo de tratamiento conservador prefiere para tratar el síndrome de túnel carpiano?**

Realizo tratamiento conservador por medio de terapia y rehabilitación. Se emplean ejercicios de fortalecimiento que sean indoloros, analgésicos y antiinflamatorios. Se trabaja de igual manera con neurodinamia, que se encarga de reducir la inflamación del nervio mediano.

**2. ¿Cuáles férulas recomienda para tratar este padecimiento y por qué?**

Como terapeutas no referenciamos el uso de férulas, pero trabajamos con médicos ortopedistas encargados de eso.



## Entrevista 3

**Abraham Valverde**

**Fisioterapeuta**

**1. ¿Qué tipo de tratamiento conservador prefiere para tratar el síndrome de túnel carpiano?**

Utilizaría un tratamiento pasivo como masajes, y otras herramientas como la neurodinamia para estimular los nervios.

**2. ¿Cuáles férulas recomienda para tratar este padecimiento y por qué?**

Recomiendo férulas de tipo funcional, que no limiten tanto el movimiento, sino que sea más bien un soporte, ya que las personas siempre deben ser funcionales. Esto especialmente en las noches, que evite tener la muñeca en posturas rígidas que provoquen un mayor estrechamiento del túnel.

**3. ¿Dentro de las férulas que conoce, cuáles oportunidades de mejora ha detectado?**

Materiales rígidos y ligeros como el polipropileno. Limitar movimientos y no producir tanta tensión en la zona, evitar los movimientos rígidos.



## Entrevista 4

**Doctor Cristhian Castro Artavia**

**Médico ortopedista especializado en mano**

**1. ¿Qué tipo de tratamiento conservador prefiere para tratar el síndrome de túnel carpiano?**

Se recomendaría al inicio del padecimiento utilizar férulas y tratamiento suministrado por vía oral. Además de esto se recomienda suministrar esteroides inyectados.

**2. ¿Cuáles férulas recomienda para tratar este padecimiento y por qué?**

Se recomienda el uso de férulas que mantenga la muñeca en posición neutra o levemente flexionada hacia arriba. Además de esto deben limitar los movimientos y desinflamar la muñeca.

**3. ¿Dentro de las férulas que conoce, cuáles oportunidades de mejora ha detectado?**

Algunas son muy cortas y las tallas no se adaptan bien a la mano de algunos usuarios.



# **Anexos 2**

# Entrevista 1

**Juan Carlos Herrera Morales**

**Edad: 30 años**

**1. ¿Ha utilizado una férula para síndrome de túnel carpiano?**

Si he utilizado

**2.a. ¿Qué tipo de férula ha utilizado?**

Muñequera para el síndrome

**3.a. ¿Consiguió esta férula en el país, la recibió por medio de la caja o en el extranjero?**

La compré en una farmacia

**4.a. ¿Cuáles complicaciones ha tenido para encontrar la férula adecuada?**

Ninguna muy significativa, pero me cuesta ponerla y quitarla.

**5.a. ¿En qué momentos del día utiliza la férula?**

Por lo general 5 horas al día durante mi jornada laboral

**6.a. Si no la utiliza siempre ¿cuáles son las razones?**

Si la utilizo todos los días

**7.a. ¿Qué le gustaría que tuviera una férula? Resultados, materiales, diseño, colores, entre otros.**

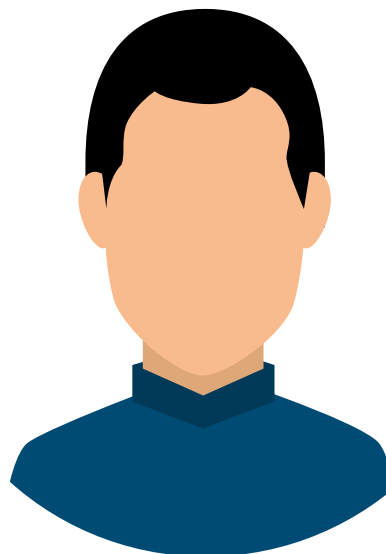
Sería útil que hubiera mayor variedad de tallas para que se ajuste mejor

**8.a. ¿cuanto estaría dispuesto a pagar por una férula?**

Lo que sea necesario ya que la necesito

**9.a. ¿La realización de cuáles tareas le generaba mayor incomodidad mientras la utilizaba?**

Mientras realizo trabajos manuales como la mecánica



## Entrevista 2

**Kattia Alvarado**

**Edad: 51 años**

**1. ¿Ha utilizado una férula para síndrome de túnel carpiano?**

No he utilizado

**2.b. Si no ha utilizado ¿cuáles razones ha tenido para no hacerlo?**

Cuando fui a consultar a la caja por el dolor en ambas manos, el médico solo me mandó a realizarme los respectivos exámenes usando electrodos. Cuando se dieron cuenta que era el síndrome del túnel carpiano me dieron la referencia para la cirugía.

Los médicos en ningún momento me dijeron que la utilización de muñequera me iba a ayudar con el dolor y yo nunca investigué otras posibles formas de reducir las molestias mientras me realizaban la cirugía.



## Entrevista 3

**Patricia Barrantes Alfaro**

**Edad: 55 años**

**1. ¿Ha utilizado una férula para síndrome de túnel carpiano?**

Si he utilizado

**2.a. ¿Qué tipo de férula ha utilizado?**

Muñequera para tratar el síndrome

**3.a. ¿Consiguió esta férula en el país, la recibió por medio de la caja o en el extranjero?**

La conseguí en la farmacia con una referencia de la doctora

**4.a. ¿Cuáles complicaciones ha tenido para encontrar la férula adecuada?**

Usualmente las fajas se aflojan con facilidad y durante la noche hay que estarlas ajustando

**5.a. ¿En qué momentos del día utiliza la férula?**

La utilizo durante la noche para dormir y evitar molestias

**6.a. Si no la utiliza siempre ¿cuáles son las razones?**

Durante el día me es incómoda ya que soy ama de casa y no me permite realizar las labores porque se moja y se ensucia.

**7.a. ¿Qué le gustaría que tuviera una férula?  
Resultados, materiales, diseño, colores, entre otros.**

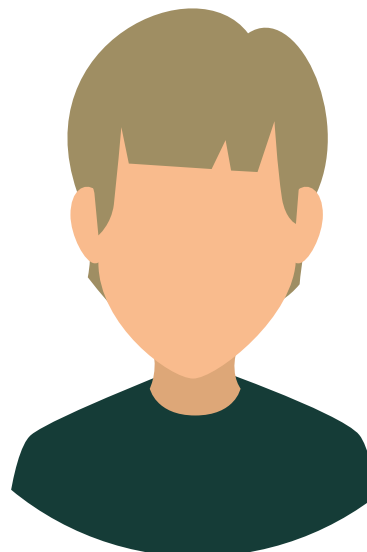
Me gustaría que las fajas se mantuvieran y no tener que estarla ajustando, deberían tener cierres más seguros

**8.a. ¿cuanto estaría dispuesto a pagar por una férula?**

Si de verdad ayudara a aliviar el dolor estaría dispuesta a pagar lo que sea. La que tengo vale 10 000 colones

**9.a. ¿La realización de cuáles tareas le generaba mayor incomodidad mientras la utilizaba?**

A la hora de planchar y mover la mano con frecuencia. También al lavar y sacar la ropa pesada de la lavadora o retorcerla para escurrirla



## Entrevista 4

**Gisela Ugalde**

**Edad: 31 años**

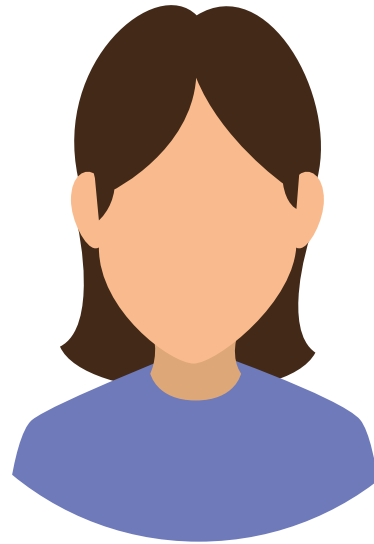
**1. ¿Ha utilizado una férula para síndrome de túnel carpiano?**

No he utilizado

**2.b. Si no ha utilizado ¿cuáles razones ha tenido para no hacerlo?**

Cuando consulté por el dolor de la muñeca con un terapeuta, solamente me mandó a hacer ejercicios con una bola de las que son anti estrés. También me mandaron a tomar acetaminofén pero de eso no pasó.

Por mi cuenta tuve que comprar kinesio Tape y me lo colocaba en las muñecas para reducir el dolor, pero realmente nunca me dijeron que podía usar una muñequera o el tipo que podía usar para mejorar mi condición.



## Entrevista 5

**Milena Corrales**

**Edad: 43 años**

**1. ¿Ha utilizado una férula para síndrome de túnel carpiano?**

Si he utilizado

**2.a. ¿Qué tipo de férula ha utilizado?**

Férula para el síndrome de túnel carpiano

**3.a. ¿Consiguió esta férula en el país, la recibió por medio de la caja o en el extranjero?**

Me la recomendó mi doctor, la compré en un supermercado

**4.a. ¿Cuáles complicaciones ha tenido para encontrar la férula adecuada?**

No tuve complicaciones para conseguirla

**5.a. ¿En qué momentos del día utiliza la férula?**

La utilizo cuando salgo, ya que cuando estoy en mi casa me es muy complicado

**6.a. Si no la utiliza siempre ¿cuáles son las razones?**

Cuando estoy en mi casa me es incómoda ya que soy ama de casa y no me permite hacer los quehaceres

**7.a. ¿Qué le gustaría que tuviera una férula? Resultados, materiales, diseño, colores, entre otros.**

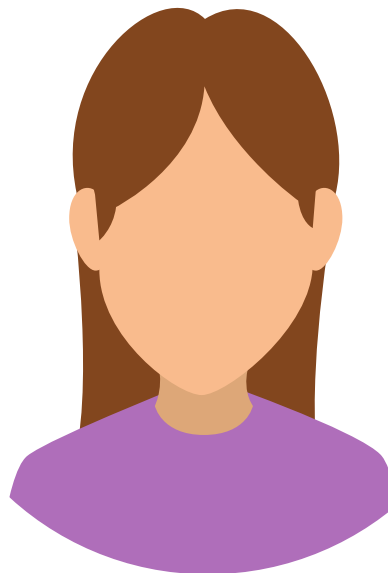
Me gustaría que la pudiera utilizar para realizar las labores del hogar

**8.a. ¿cuanto estaría dispuesto a pagar por una férula?**

La que tengo vale 10 000 colones y me parece un precio accesible

**9.a. ¿La realización de cuáles tareas le generaba mayor incomodidad mientras la utilizaba?**

En general me es incómoda para hacer las tareas domésticas entonces no la puedo utilizar

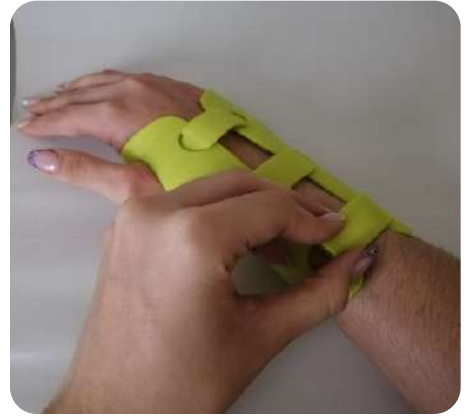


# **Anexos 3**

## Evidencias de pruebas con usuarios



## Evidencias de pruebas con usuarios



# **Anexos 4**

## Cotización de la impresión 3D

Para la cotización se consultó con la empresa Pritonic. Esta es una empresa nacional dedicada a la comercialización de máquinas para impresión, spools de diferentes polímeros y también la impresión de piezas 3D en distintos materiales.

Material	Peso (g)	Impresión (min)	Precio (colones)	Precio estudiante
PLA	50	500	13500	12150
TPU	80	750	17500	15750

# **Anexos 5**

# Manual de uso

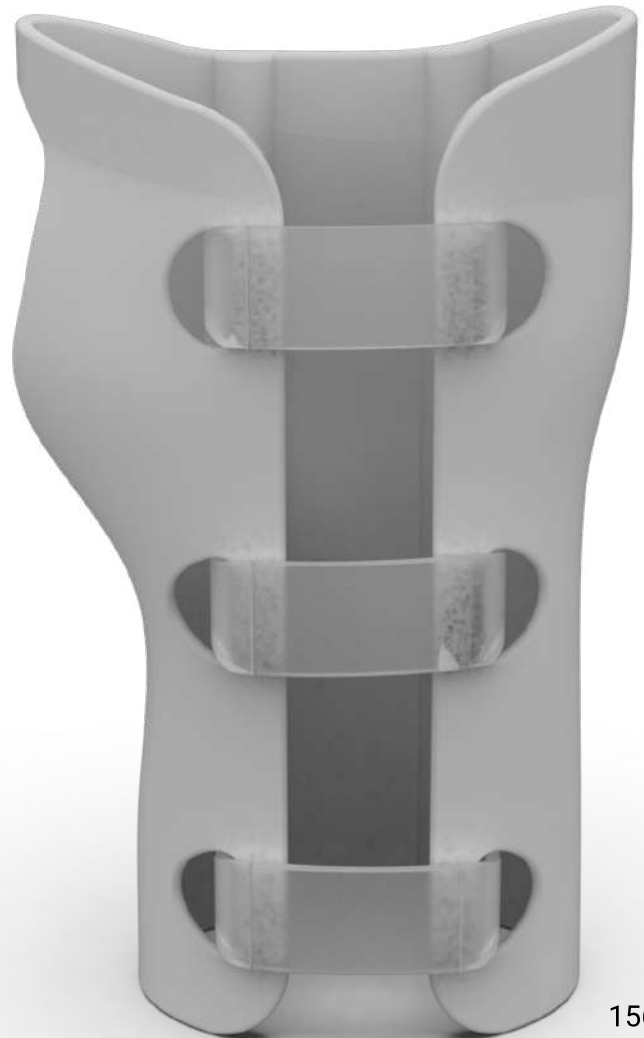
Dispositivo de apoyo para la muñeca, dirigido a personas con síndrome del túnel carpiano



# Descripción general

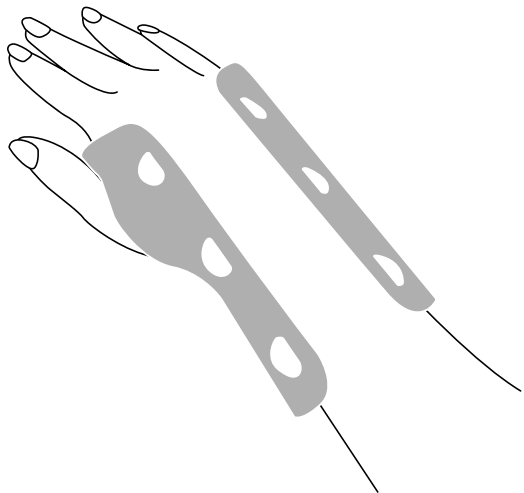
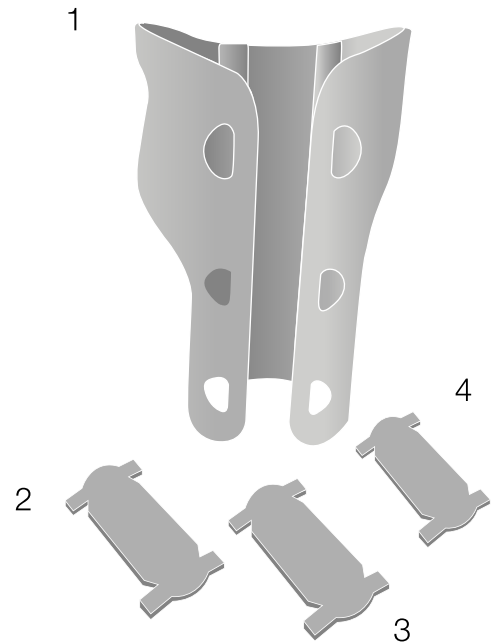
Este dispositivo se utiliza en la muñeca, con el objetivo de mantenerla en posición neutral y reducir los efectos generados por el Síndrome del Túnel Carpiano. Todo esto mediante la generación de una compresión adecuada en la articulación, la cual permita que se desinflame en túnel.

El dispositivo de apoyo se emplea como tratamiento conservador, cuando el síndrome se clasifica como leve-moderado. En este manual se explicará el protocolo de uso adecuado del producto.



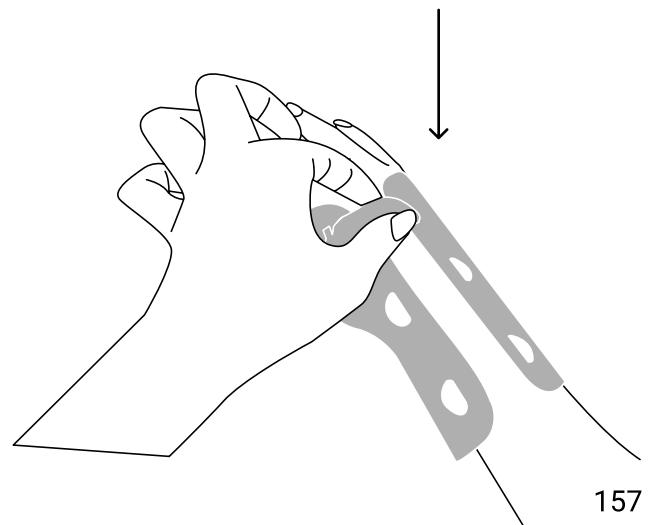
## Paso 1

Sacar las cuatro piezas que conforman el producto. Estas son, la órtesis y las 3 bandas elásticas del mecanismo de cierre.



## Paso 2

Tomar la órtesis y colocar la mano afectada con el padecimiento dentro de esta. De manera que el dedo pulgar quede en el agujero lateral y la abertura en la parte superior de la mano.

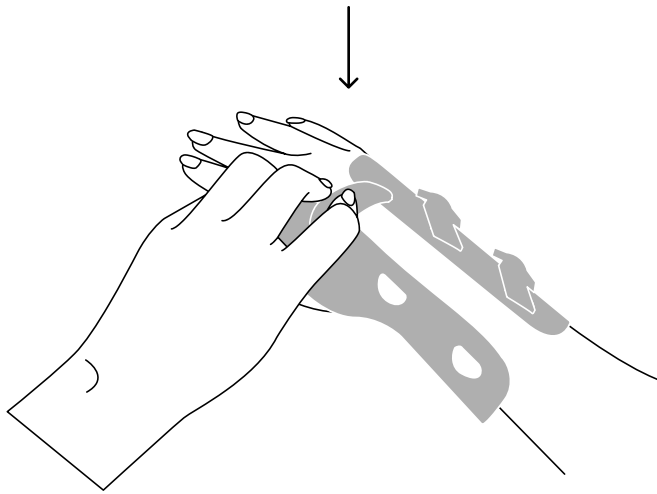
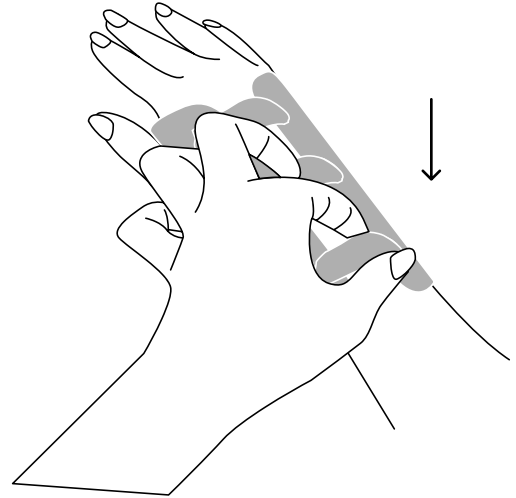


## Paso 3

Insertar el extremo de una banda en uno de los agujeros del dispositivo.

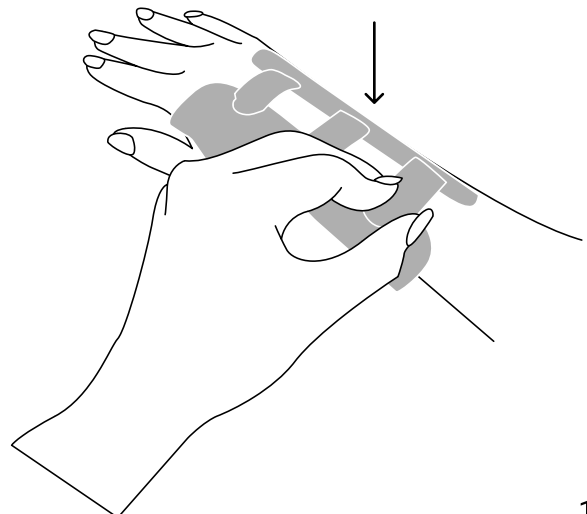
## Paso 4

Insertar un extremo de las otras bandas dentro de los agujeros del mismo lado



## Paso 5

Insertar el otro extremo de la banda dentro del agujero del lado opuesto.

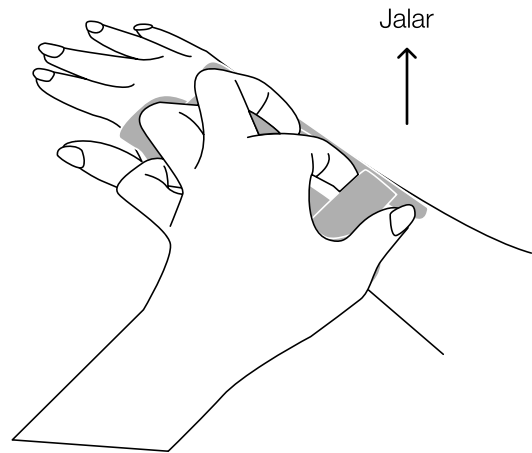


## Paso 6

Hacer lo mismo con las otras dos bandas en el orden que sea más conveniente.

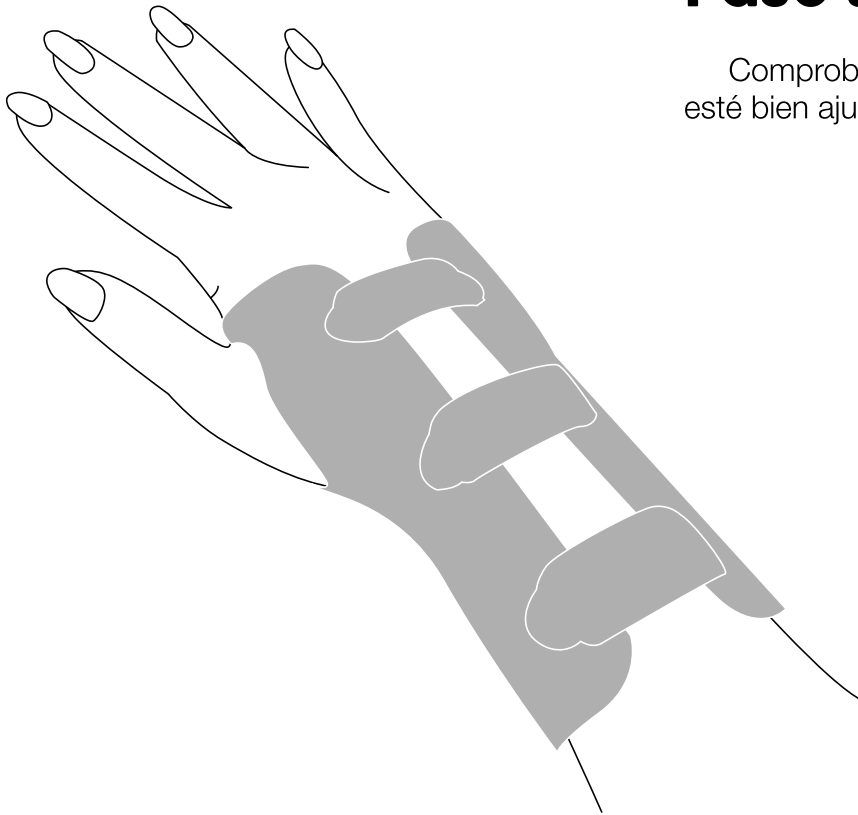
## Paso 1

Asegurarse de que las bandas estén bien colocadas y no se salgan de su posición.



## Paso 8

Comprobar que el dispositivo de apoyo esté bien ajustado de manera cómoda.



**¡Gracias por utilizar el  
dispositivo de apoyo!**

