

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ



INSTITUTO DE ARQUITECTURA DISEÑO Y ARTE

DEPARTAMENTO DE DISEÑO

MAESTRÍA EN DISEÑO Y DESARROLLO DE PRODUCTOS

“Producto de rehabilitación en lesiones de nervios periféricos de la mano para mujeres que trabajan en oficinas”

Investigación de grado para obtener el master en diseño y desarrollo de producto

L.D.I. Wendy Pereira Acosta

“Becada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología”

**Bajo la dirección del
Dr. Juan Luis Hernández Arellano**

Ciudad Juárez, Chihuahua.

Junio de 2020

Contenido

1	INTRODUCCIÓN.....	4
	1.1 Introducción general	5
2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
	2.1 Descripción del Problema	8
	2.2 Preguntas de Investigación	9
	2.2.1 Preguntas de Investigación General	9
	2.2.2 Preguntas de Investigación Específica	9
	2.3 Objetivos.....	10
	2.3.1 Objetivo general.....	10
	2.3.2 Objetivos específicos	10
	2.4 Justificación.....	10
	2.5 Alcances	12
	2.6 Delimitaciones	12
3	MARCO TEÓRICO	13
	3.1 Síndrome del Túnel Carpiano.....	14
	3.1.1 Epidemiología del Síndrome del Túnel del Carpiano	15
	3.1.2 Rehabilitación del Síndrome del Túnel del Carpiano	17
	3.2 Miembro superior. Mano y muñeca	20
	3.2.1 Antropometría de la mano	20
	3.2.2 Biomecánica de la mano.....	21
	3.3 Ergonomía laboral	22
	3.3.1 Salud laboral y el ámbito de trabajo relacionado con el uso de computadoras	23
	3.3.2 El rol del mouse y de su uso, dentro de la ergonomía del puesto de trabajo	24
	3.4 Estado del Arte	26
	3.4.1 Productos existentes	26
	3.4.2 Patentes.....	27
4	MÉTODOS	40
	4.1 Tipo de investigación.....	41
	4.2 Metodología para el diseño del producto	41
	4.3 Estructura del estudio de campo	43

4.3.1	Encuesta sobre la evaluación del uso del mouse para actividades escolares aplicando las técnicas de diferencial semántico	44
4.3.2	Encuesta sobre la evaluación del uso del mouse para actividades escolares aplicando el método de Kano	44
4.3.3	Encuesta piloto para mujeres que padecen lesiones de los nervios periféricos de la mano y que trabajan empleando computadoras en su puesto de trabajo	44
4.4	Requerimientos de diseño	46
5	CONCEPTO	47
5.1	Requisitos de Diseño	48
5.2	Concepto	51
5.3	Variantes conceptuales	52
5.3.1	Variante conceptual 1	52
5.3.2	Variante conceptual 2	54
5.3.3	Variante conceptual 3	55
5.3.4	Método de PUGH	56
5.4	Experimentación	58
5.5	Prototipo	60
5.6	Ajustes	72
6	VALIDACIÓN DE PRODUCTO	82
6.1	Evaluación	83
6.1.1	Encuesta a expertos Fisioterapia y Medicina General. Ver Anexo 4	84
6.1.2	Encuesta a expertos en Diseño Industrial. Ver Anexo 5	88
6.2	Usabilidad y recepción del producto	90
6.2.1	Evaluación del uso y recepción del dispositivo de rehabilitación del STC. Ver Anexo 6 ..	90
6.3	Validación	97
7	PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN	103
7.1	Capítulo de libro	104
7.2	Propuestas para registro de Propiedad	104
7.3	Estancia de movilidad	104
7.4	Ponencia	105
8	CONCLUSIONES	106
9	BIBLIOGRAFÍA	108

1

INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción general

Actualmente el trabajo en oficinas con computadoras es uno de los oficios más comunes y abundantes debido a la amplia informatización y desarrollo de la tecnología a nivel mundial (Salinas, H. R. C, 2008). Según Yagev et al. (2001), las secretarias, mecanógrafas, diseñadores, económicos, recepcionistas, comerciales, economistas, analistas, programadores e investigadores, que laboran en oficinas durante jornadas de 8 horas, con uso prolongado del mouse y el teclado, realizando movimientos repetitivos que alternan mayor y menor fuerza, en posturas estáticas y poco ergonómicas, se ven expuestos a afectaciones del sistema músculo-esquelético y traumatismos ocupacionales frecuentes por los reiterados movimientos forzados de flexión y extensión de la muñeca (Kutluhan, S., 2001; Bekkelund et al. 2001; Wong et al. 1995), todo lo cual, incide negativamente sobre el estado de salud del personal y la productividad de la empresa.

Uno de los padecimientos más generales está asociado al daño de la muñeca relacionado a la compresión de los nervios periféricos de la mano. Según Atroshi et al. (1999) el Síndrome del Túnel Carpiano (STC) es una de las neuropatías más comunes, y se define como el atrapamiento del nervio mediano en el Túnel de Carpo (Dawson, D. M. ,1993; Pardal-Fernández, et al. 2004; Parra, et al. 2009). Los trabajadores suelen recurrir al uso de analgésicos y medios suplementarios como muñequeras y férulas diurnas para realizar los tratamientos de rehabilitación indicados durante la fisioterapia como parte del tratamiento conservador para el STC y para aliviar los síntomas de la afección (Ly-Pen, D., & Andreu, J. L., 2005; Armenteros Pedrero, et al. 2000), permitiéndoles reincorporarse a sus actividades laborales en el puesto de trabajo en el menor tiempo posible, pero desgraciadamente estos dispositivos son adquiridos en farmacias y tiendas en línea y no necesariamente vienen directamente del fisioterapeuta, por lo que no siempre son aptos para todo tipo de pacientes con STC, donde en el mejor de los casos contienen el daño, pero no contribuyen a la restitución orgánica de la lesión del nervio, incurriendo en que, si la afectación no es atendida con un médico y se continúa trabajando en esas condiciones, los daños neuróticos pueden ser mayores, ocasionando que deba ser tratado quirúrgicamente, lo cual conlleva una posterior recuperación en la que adaptarse nuevamente al uso del mouse y el teclado es un proceso complicado y difícil ya que estos continúan presentando las características que produjeron la afectación y el uso de almohadillas de silicona no corrige el problema.

La edad media del principio de los síntomas se sitúa entre los 45 y 50 años (Conesa, A. G. & Gisbert, M. S., 2004), aunque se reportan casos tempranos entre los 25 y 40 años. La evaluación exacta del número de casos de pacientes afectados por estos síndromes es muy difícil, ya que las cifras varían entre el 3 y el 16% según los estudios, pero aproximadamente se estima en un 0,3% de la población el número de nuevos casos por año, con un aumento de esta incidencia a partir de los años 90. Además, las mujeres, por tener el túnel carpiano más pequeño que los hombres, tienen una mayor probabilidad de padecer el síndrome que ellos, de ahí que el 4% de las mujeres y el 2,4% de los hombres en la población asalariada padecen esta sintomatología, duplicándose esta proporción en los asalariados de más de 50 años.

Este proyecto pretende diseñar un producto para la rehabilitación de lesiones, como el Síndrome del Túnel Carpiano y el Síndrome del Canal de Guyón, que afectan los nervios periféricos de la mano en la zona de la muñeca. El producto resultante permitirá ayudar a personas que padecen estas enfermedades profesionales, ocasionadas por el uso prolongado y repetitivo del teclado y el mouse en actividades de oficina, principalmente mujeres en edad productiva entre 25 y 50 años. Su uso posibilitará una mayor productividad del trabajo y la rehabilitación de las lesiones existentes, mejorando su calidad de vida.

2

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Descripción del Problema

Cada año se eleva la tasa de lesiones de los nervios periféricos de la mano que ocurren en la muñeca, tales como, el Síndrome del Túnel Carpiano y el Síndrome del Canal de Guyón, cuyo origen se considera laboral, con una alta incidencia en personas que trabajan jornadas de 8 horas en oficinas empleando computadoras, una actividad muy común, debido a la amplia informatización y desarrollo de la tecnología a nivel mundial. Estos trabajadores expuestos a posturas estáticas, falta de elementos ergonómicos, el uso inapropiado de las medidas antropométricas y las sobrecargas de trabajo pueden experimentar enfermedades profesionales cuyas manifestaciones más frecuentes son: lesiones, golpes, micro traumatismos y cansancio excesivo de las manos, que afectan su salud y productividad.

La actividad laboral puede ser una causa o ser una agravante del Síndrome del Túnel Carpiano. Entre los factores de riesgo para los desórdenes músculo-esqueléticos figuran: la postura de desviación de la muñeca en el plano de flexo extensión, las exposiciones a fuerzas adversas y vibraciones, así como los movimientos repetitivos. Esta lesión es identificada como resultante de sus actividades laborales por la mayoría de los pacientes que presentan este síndrome y que han realizado durante años tareas de precisión con sus manos y dedos. Si esta neuropatía aparece en un contexto laboral, clasifica dentro de los desórdenes músculo esqueléticos relacionados con el trabajo (WMSDs) por sus siglas en Inglés) (Hagberg, 1996; L. y McCauley, 2012), y la empresa deberá encargarse de la indemnización y rehabilitación de su trabajador, puesto que la actividad realizada bajo el contrato de la entidad tuvo una relación directa con el origen de la lesión. Los desórdenes músculo esqueléticos relacionados con el trabajo son la primera causa de discapacidad en los Estados Unidos y según se estima, se gastan 215 mil millones de dólares al año en rehabilitación (Vernaza, 2005).

Los productos existentes hasta el momento para rehabilitar los Síndrome del Túnel Carpiano y/o Síndrome de Canal de Guyón como las férulas comerciales, muñequeras y fortalecedores, tienen como función solucionar el problema como rehabilitación independiente del usuario fuera de la jornada laboral o simplemente se emplean para aliviar el dolor, pero sin corregir el problema. Sin embargo, es difícil encontrar productos que realicen estas dos funciones mientras el usuario se encuentra realizando sus tareas en su puesto de trabajo.

Hace unos años comenzó el diseño y la comercialización de otros tipos de dispositivos de inmovilización gracias al avance tecnológico y perfeccionamiento de la tecnología aditiva, (José Segnini, Mary Vergara, 2017), las férulas producidas utilizando la fabricación aditiva (también conocida como impresión 3D), con diseños morfológicamente diferentes a las órtesis conocidas tradicionalmente, debido al ajuste de la forma del dispositivo a la tecnología con la que se fabrican, que se adapta a la antropometría de las manos y propone una nueva forma de producir y distribuir las férulas de rehabilitación del síndrome del túnel carpiano.

Lo antes planteado, revela que existe una alta incidencia de casos de Síndrome del Túnel Carpiano ocasionados por actividades laborales con excesivas horas de exposición a movimientos repetitivos, posturas incorrectas y estáticas, así como la falta de elementos ergonómicos. Por lo que se hace importante investigar sobre este tipo de lesiones de los nervios periféricos de la mano y la restitución de las funciones orgánicas de los mismos, por medio del diseño de un dispositivo de rehabilitación que permita el movimiento de la mano sin compresión del nervio afectado mientras se emplea el mouse y el teclado al trabajar con computadoras en los puestos de trabajo.

2.2 Preguntas de Investigación

2.2.1 Preguntas de Investigación General

¿Cómo se puede recuperar la función orgánica disminuida de la mano por el Síndrome del Túnel Carpiano por medio del uso de un dispositivo de rehabilitación diseñado para esta función?

2.2.2 Preguntas de Investigación Específica

- ¿Qué características deberá tener un diseño que permita el movimiento de la mano sin comprimir el nervio mediano o el nervio cubital mientras se emplea el mouse y el teclado utilizando un dispositivo de rehabilitación?
- ¿Qué diseño de estructura hace posible que se mueva el dispositivo de rehabilitación de forma tal que restituya la actividad física motora de la mano por el Síndrome del Túnel Carpiano?

2.3 Objetivos

2.3.1 Objetivo general

Diseñar un producto de rehabilitación para lesiones de los nervios periféricos de la mano que ocurren en la muñeca como el Síndrome del Túnel Carpiano y el Síndrome del Canal de Guyón para mujeres que trabajan en oficinas.

2.3.2 Objetivos específicos

-Determinar las necesidades de rehabilitación de las mujeres que trabajan en oficinas que padecen el Síndrome del Túnel Carpiano o el Síndrome del Canal de Guyón.

-Determinar los materiales más adecuados para la fabricación del producto mediante fabricación aditiva.

-Diseñar un producto que se adapte mejor a las características de los usuarios y al contexto laboral.

-Utilizar la metodología de usabilidad de producto para validar el producto diseñado

2.4 Justificación

A nivel global, se ha identificado una alta tasa de incidencia del Síndrome del Túnel Carpiano (Hoyos, D. H., 2010), y el Síndrome del Canal de Guyón de origen laboral, con afectación de los nervios periféricos de la mano en la zona de la muñeca, sobre todo en trabajadores que realizan movimientos repetitivos con el teclado y el mouse, de forma prolongada y apoyados en superficies duras o aristas del talón de la mano (Parra et al., 2007).

Los productos disponibles en las farmacias, clínicas, tiendas y sitios en línea para personas con neuropatías rehabilitan de forma independiente la lesión del nervio o alivian el dolor, pero no corrigen el origen del problema, dado a que no modifican los patrones de movimiento de la mano o no se ajustan a las condiciones de trabajo del paciente, pudiendo reincidir en la afectación con el paso del tiempo. No obstante, encontrar productos que realicen ambas funciones mientras el usuario se encuentra realizando sus tareas en su puesto de trabajo es poco común.

Este proyecto se propone diseñar un dispositivo de rehabilitación que posibilite la recuperación de la función orgánica disminuida de los nervios periféricos de la mano y que permita el movimiento de la mano sin comprimir el nervio afectado mientras se utiliza el mouse y el teclado

al trabajar en una computadora durante la jornada laboral, beneficiará a mujeres de entre 25 y 20 años que se encuentran en su edad productiva y padecen el Síndrome del Túnel Carpiano o el Síndrome del Canal de Guyón, las cuales mayormente se ausentan de sus puestos de trabajo por un tiempo indefinido en dependencia del grado de la lesión para recibir un tratamiento médico y recuperarse de estas afectaciones, pudiendo provocarles pérdidas monetarias al no cobrar la totalidad de su salario, o reincorporándose a trabajar incluso cuando la lesión aún no está del todo curada con tal de no perder su trabajo. Esto ocasiona que su productividad disminuya al limitarse la movilidad de sus manos por el dolor o bien por el uso de férulas o vendas que restrinjan los movimientos de las muñecas, manos y dedos.

Por otro lado, el ausentismo del personal a un centro de trabajo incide directamente en la productividad del mismo y en sus finanzas, pues se debe indemnizar al trabajador durante su ausencia debido a que esta lesión está incluida en el listado de enfermedades laborales, por lo que el centro deberá destinar un capital determinado para los gastos de indemnización de la trabajadora afectada con el Síndrome del Túnel Carpiano. Así mismo, estos seguros médicos influyen directamente en el sector de la Salud pues todos los pacientes con estas lesiones deben atenderse y recuperarse en hospitales y centros de rehabilitación. Siendo así destinados numerosos recursos para su tratamiento, incluyendo las sesiones de fisioterapia durante periodos de entre 3 a 6 semanas según la evolución de los pacientes. Analizando que el sector Salud se restringe a las normas y recursos del país, en los casos de la salud pública gratuita, los costes que implican estas atenciones y tratamientos son financiados por los respectivos gobiernos, quienes, a su vez, en ocasiones deben pagar la indemnización de los ciudadanos afectados con estas lesiones.

Dado que a todo lo largo del proceso de investigación se arrojarán datos antropométricos, ergonómicos, biomecánicos y fisioterapéuticos que serán influyentes para el diseño, desarrollo y posterior mejora continua del dispositivo de rehabilitación, el valioso volumen de información resultante podrá servir de base para estudios e investigaciones ulteriores sobre esta misma temática y/o para emprender nuevas líneas de I+D+i afines a la misma.

Esta investigación tendrá un alto impacto en la sociedad femenina trabajadora, la cual es la más afectada por estos padecimientos, pues el dispositivo de rehabilitación que se diseñará se adaptará a las características y proporciones antropométricas de las manos de las pacientes de STC de 25 a 50 años que trabajan en oficinas, a fin de facilitar el movimiento de la mano sin comprimir

el nervio afectado mientras se emplea el mouse y el teclado al trabajar con computadoras en los puestos de trabajo y rehabilitar las lesiones existentes.

2.5 Alcances

-Todo tipo de trabajo con computadoras, en el que se emplee con mouse y teclado.

-Para usos durante las etapas de rehabilitación previo y durante la reincorporación al puesto de trabajo.

2.6 Delimitaciones

-Producto para el sector poblacional femenino que presentan mayor incidencia de estas neuropatías.

-El prototipo final será construido a partir de tecnología aditiva por su rápida y fácil fabricación, para la posterior validación de la funcionalidad y usabilidad del dispositivo.

3

MARCO TEÓRICO

3.1 Síndrome del Túnel Carpiano

Se conoce como Síndrome del Túnel Carpiano a una neuropatía muy frecuente con alta incidencia en la población en general y que se caracteriza por su manifestación dolorosa y progresiva a causa de la compresión del nervio mediano al pasar por el Túnel del Carpo. (Dawson, D. M. ,1993; Pardal-Fernández, et al. 2004; Parra, et al. 2009). Este importante nervio de la mano que atraviesa la muñeca (Figura 3.1) generalmente afecta primero la mano dominante y es donde se perciben los dolores más intensos (Díaz, G., & del Carmen, H., 2008).



Figura 3.1. Nervio mediano. Basado en: Esquema del territorio sensitivo del nervio mediano, Específica, P. D. V. S., 2000

Entre los factores de riesgo identificados como potenciales causantes del Síndrome del Túnel Carpiano (Kutluhan, S., 2001; Bekkelund et al. 2001; Wong et al. 1995) se encuentran:

- Las tareas repetitivas con aumento y disminución de fuerza
- Las posturas estáticas y poco ergonómicas
- Las flexiones y extensiones repetidas y forzadas de la muñeca
- Los movimientos frecuentes de torsión de la muñeca
- La utilización de la pinza pulgar/índice
- La utilización de una herramienta vibrante, de un teclado informático o del mouse.

Los movimientos de flexión y extensión de la muñeca, y los de desviación radial y ulnar, son los movimientos articulatorios que más afectan la compresión del nervio mediano (figura 3.2).



Figura 3.2. Movimientos de la mano y muñeca. Basado en: Esquema del movimiento articular de la muñeca, Panero et al. 1983

Entre las profesiones que se identifican con mayor riesgo de aparición del Síndrome del Túnel Carpiano están las que requieren de trabajo prolongado con computadora y uso frecuente del mouse y el teclado, en particular, las secretarías, mecanógrafas, diseñadores, recepcionistas, programadores e investigadores (Yagev et al., 2001).

3.1.1 Epidemiología del Síndrome del Túnel del Carpiano

Reconocido como el disturbio músculo esquelético (DME) más frecuente, el Síndrome del Túnel Carpiano tiene una alta incidencia en la población en general (Hoyos, D. H., 2010). Algunas estadísticas publicadas sobre el STC ratifican lo anterior (Conesa, A. G. & Gisbert, M. S. 2004):

- Incidencia situada entre el 0,1 % y más del 10 %.
- Gasto médico superior al billón de dólares anuales.

- Anualmente 200.000 operaciones médicas.
- Baja laboral de 25 días a 30.000 trabajadores por cirugía.

En los hombres, el padecimiento del síndrome del túnel carpiano aumenta con la edad. En las mujeres, el padecimiento aumenta en edades entre 45 y 54 años y tiene una prevalencia en la vejez cuatro veces superior que en los hombres” (Conesa, A. G. & Gisbert, M. S., 2004).

Como resultado de un estudio retrospectivo con 185 pacientes (156 mujeres y 29 hombres), con una edad promedio de 45 años que presentaban síndrome del túnel carpiano, se determinó que el trabajo manual estresante, la diabetes mellitus y la obesidad son factores predisponentes y que sus síntomas más frecuentes fueron las parestesias nocturnas en la mano (Bahou, Y. G., 2002).

La actividad laboral puede ser una causa o ser una agravante del Síndrome del Túnel Carpiano (Kasdan, M. L., & Lewis, K., 2002). Muchos de los pacientes que presentan este síndrome, asocian la lesión con las tareas que ejecutan en sus trabajos, los cuales se caracterizan mayormente por la realización de actividades de precisión que requieren accionar con las manos y dedos durante largos períodos de tiempo (Bekkelund, S. I., Pierre-Jerome, C., Torbergsen, T., & Ingebrigtsen, T., 2001).

Entre los factores de riesgo ocupacionales (Kutluhan, S., 2001) están las exposiciones prolongadas a fuerzas adversas, movimientos repetitivos, vibraciones, y ciertas posturas, así como los movimientos de flexión de muñeca y dedos con carácter repetido y forzado

Los trabajos repetitivos que alternan aumento y disminución de fuerza se asocian a un riesgo mayor de aparición del síndrome del túnel carpiano. Estos trabajos incluyen diseñadores, secretarias, mecanógrafas, económicos y trabajadores industriales” (Yagev, Y., Carel, R. S., & Yagev, R., 2001).

Un estudio realizado a pacientes oficinistas con síndrome del túnel carpiano, incapacitados por dolor en manos o dedos (Wong et al. 1995) reveló que dichos pacientes presentaban una inadecuada postura al sentarse.

Según un estudio realizado con 146 trabajadores lesionados por trabajos repetitivos (Ranney et al. (1995) el 31 % de las lesiones eran en las zonas de cuello y hombro, y el 23 % en la mano, siendo la lesión más frecuente la neuritis por síndrome del túnel carpiano, incluso, en 7 de los trabajadores se presentó la lesión en ambas manos. Por otra parte, en un estudio efectuado para determinar factores causales ocupacionales del síndrome del túnel del carpo (Oliver et al. 2000),

se encontró que, tanto los movimientos de inclinación hacia la izquierda, como hacia la derecha, de cualquiera de las manos, tienen alto riesgo de originar el síndrome. Además, según Lowe et al. (1999) las personas que padecen síndrome del túnel carpiano poseen menos habilidades para coordinar la fuerza de los dedos de la mano y tienen déficit de sensibilidad táctil. Es por ello, que los trabajadores con este síndrome tienen un mayor riesgo de presentar trastornos músculo-esqueléticos.

En otros estudios (Jeng et al. 1994), que investigaron los déficits funcionales asociados al síndrome del túnel carpiano, se encontraron déficits psicomotores, tanto en las actividades de vida diaria, como en las actividades laborales manuales.

Como resultado de un estudio efectuado con 100 trabajadores manuales afectados con síndrome del túnel carpiano (Matias et al. 1998), se encontró que las principales variables de riesgo asociadas con dicha lesión son, en primer lugar, la duración del trabajo, ya que al pasar de 1 hora a 4 horas de trabajo la probabilidad del riesgo aumenta de 0,45 a 0,92 y en segundo lugar, el diseño del puesto de trabajo. En menor medida, influyen la postura asociada con el trabajo, como la desviación cubital de la muñeca, y las medidas antropométricas individuales.

La repetición de la actividad manual afecta la presión del túnel carpiano. Los movimientos de flexión y extensión de muñeca, así como, la velocidad y aceleración de los mismos para cada plano de movimiento, influyen en los traumatismos acumulativos de la muñeca asociados a trabajos manuales (Conesa, A. G. & Gisbert, M. S., 2004).

En el ámbito laboral, una correcta evaluación de los pacientes requiere la obtención suficiente información sobre la lesión, un examen minucioso de la misma, y conocer las exposiciones ergonómicas adversas tanto dentro como fuera del entorno laboral.

3.1.2 Rehabilitación del Síndrome del Túnel del Carpiano

Según la OMS se define la rehabilitación como "el conjunto de medidas sociales, educativas y profesionales destinadas a restituir al paciente minusválido la mayor capacidad e independencia posibles" (Gestal Otero, J. J. & Romaní Lestón, M., 1990).

En una revisión bibliográfica (Davis et al. 1998) sobre el Síndrome del Túnel Carpiano (STC) que abarcó más de 200 artículos sobre el tratamiento del mismo, se encontró que, dentro de los tratamientos no quirúrgicos de recuperación que se indican con mayor frecuencia por los médicos y que no incluyen anti inflamatorios orales no esteroideos, ni infiltraciones con corticoides, están:

- La manipulación articular y de tejidos blandos de miembros superiores y la columna (sobre todo de la muñeca y la columna cervical),
- Algunas modalidades de electroterapia,
- El cambio del puesto de trabajo,
- La suspensión de otras actividades que afecten a la muñeca
- El uso de férula de inmovilización de la muñeca (figura 3.3) en los primeros tres meses de aparición de síntomas, ya que estas tienden a disminuir la presión en el carpo y reducen la inflamación del nervio medio (burke et al., 1994) manteniendo la articulación en una posición neutral y evitando movimientos de flexión y extensión, o desviación radial y ulnar de la muñeca. También se indica que las férulas de uso diurno deben retirarse 2 veces al día para mantener los arcos de movimiento.



Figura 3.3. Ejemplo de férula de inmovilización

En la Guía De Prácticas Clínicas titulada "Rehabilitación en lesiones de nervios periféricos del antebrazo y las manos" (Hoyos, D. H., 2010), se afirma que no hay férulas que se adapten perfectamente a cada persona; por lo tanto, deben ajustarse a las medidas antropométricas de las manos y a las necesidades, las costumbres y la labor que realiza el paciente. La adaptación debe ser óptima para que no se produzcan lesiones importantes a largo plazo debido a la inmovilización en una posición neutral incorrecta o debido a la falta de ajuste ergonómico de la férula para la

mano. De acuerdo con las especificaciones de la condición de la lesión de cada paciente, los tipos de adaptación varían en rígido o blando, volador o dorsal.

Estos dispositivos deben ser livianos, duraderos y lavables (Ocello, M. y Lovotti, V., 2020), pueden ser ortesis de yeso, colocados en centros hospitalarios (Herrera Gil, L., 2019) por especialistas, o férulas estáticas comerciales con cierres de velcro, adquiridas en farmacias o tiendas en línea. A pesar de ser utilizados convencionalmente, generalmente presentan ciertas desventajas, como la acumulación de bacterias por la humedad del ambiente y el sudor del paciente, causan picazón, no son impermeables y son difíciles de desinfectar, por mencionar algunas.

En la última década con aumento del desarrollo de la tecnología aditiva, se inició el diseño y la comercialización de férulas de inmovilización producidas por impresión 3D (José Segnini, Mary Vergara, 2017), diferentes a las órtesis comerciales tradicionales, debido a la tecnología con la que se fabrican, con una mejor adaptación antropométrica a las manos de cada paciente.

Entre los hallazgos de la revisión bibliográfica sobre el Síndrome del Túnel Carpiano (STC) realizada por Davis et al. (1998), se encuentra una investigación realizada para comparar la eficacia de los diferentes medios de tratamiento no quirúrgico, en la cual se asignaron 91 pacientes con STC a dos grupos, a 46 de ellos le aplicaron férula de muñeca durante la noche acompañado de la administración de ibuprofeno (la primera semana 800 mg tres veces al día, la segunda semana 800 mg dos veces al día y durante siete semanas hasta 800 mg diarios si se necesitaba, sin superar la dosis de 2400 mg). Para los 45 pacientes restantes, el tratamiento consistió en manipulación articular y de tejidos blandos en extremidad superior y columna, a razón de tres sesiones de tratamiento por semana durante dos semanas, dos sesiones por semana durante tres semanas, y una sesión semanal de tratamiento durante cuatro semanas. Para este segundo grupo el tratamiento incluyó además férula de muñeca durante la noche, y aplicación de ultrasonido sobre el túnel del carpo. Finalizaron el tratamiento 36 pacientes del primer grupo y 34 del segundo grupo. Al finalizar el tratamiento, todos los pacientes presentaron cambios significativos, disminuyeron los signos de distrés físico y mental, aumentaron las velocidades de conducción nerviosa y no se presentaron diferencias entre ambos grupos de tratamiento. La evaluación se efectuó por medio de autoinformes de distrés (agotamiento) físico y mental, pruebas de conducción nerviosa, y cuantificador de vibración. En ninguno de los grupos, se analizó el efecto separado de sus componentes de tratamiento.

Según Feuerstein et al. (1999) en un estudio de revisión, se halló que:

...en comparación con la inmovilización, los ejercicios en un rango de movimiento asocian un menor dolor a los pocos días de regresar al trabajo, y la terapia cognitivo conductual es efectiva para reducir el dolor, la ansiedad y depresión con estos pacientes... La rehabilitación ocupacional multidisciplinaria se asocia con un mayor porcentaje de casos crónicos que regresan al trabajo tras el tratamiento, y los trabajadores que reciben compensación económica asocian un aumento del tiempo de regreso al trabajo tras cirugía... los programas de rehabilitación multidisciplinaria, consisten en intervenciones médicas y farmacológicas, fisioterapia ocupacional con simulación del puesto de trabajo y evaluaciones de la actividad laboral.

En Estados Unidos de América se realizó un estudio prospectivo con seguimiento a los 18 meses por Seradge et al. (2002) con el propósito de evaluar la efectividad de un programa de tratamiento no quirúrgico del síndrome del túnel carpiano mediante ejercicios de descompresión. Es estudio, realizado con 28 pacientes (33 manos afectadas), evidenció buenos resultados en los pacientes con sintomatología moderada, requiriendo cirugía solo los casos severos.

3.2 Miembro superior. Mano y muñeca

3.2.1 Antropometría de la mano

Definición de Antropometría (Pheasant et al. 2006):

...la rama de las ciencias humanas que trabaja con las dimensiones del cuerpo; particularmente: talla, forma, fuerza, flexibilidad, movilidad y capacidad de trabajo. Los humanos son variables (en dimensión, proporción, forma, y en otras características) y el diseño de usuario está centrado en la comprensión de esta variabilidad.

Según Mondelo et al. (2001):

...la población se divide para fines de estudios en 100 categorías: desde los más pequeños (en dimensión) hasta los más grandes, con respecto a un tipo de medida (estatura, peso, longitudes de la mano, etc.). Se utiliza la curva de Gausse o Curva de Distribución de Frecuencia Estándar para ilustrar los percentiles.

Los registros antropométricos básicos de la mano contienen diversas medidas importantes que son indispensables al momento de diseñar productos que se adaptan a las manos y cuya función está vinculado con dichas medidas.

Se han identificado (Yunis, 2004) como dimensiones útiles para el diseño de herramientas de uso manual: la longitud de la mano, la longitud de la palma, el ancho de la mano, el ancho máximo de la mano, el diámetro de agarre, el espesor de la mano, la circunferencia de la mano y la circunferencia máxima de la mano (figura 3.3).

Por su parte, Mondelo (1999) señala que es importante, además, considerar la longitud de las falanges de los dedos para el diseño de herramientas o utensilios para la mano, y que para la ejecución de fuerza durante tareas de prensión estas dimensiones antropométricas influyen directamente en la acción motriz, por lo que es necesario tenerlas en cuenta.



Figura 3.3. Dimensiones de la mano. Basado en: Esquema las dimensiones de la mano, Panero et al. 1983. (Yunis, 2004)

Entre los factores clave para la realización de una tarea manual específica (Mariangel, N. C. & Silva, Ó. M., 2011) están la destreza, la precisión, los factores psicomotrices, el control de la fuerza y el control de los movimientos de la mano, así como, la antropometría característica para esa tarea, factor que considera la relación entre las dimensiones de la mano, y la eficiencia, efectividad, confort y salud, con que se ejecuta una determinada tarea manual.

Es importante considerar la antropometría en el momento de realizar la adaptación ergonómica de un usuario con una herramienta o dispositivo de trabajo. De este modo se beneficiarán un mayor número de personas, reduciendo la posibilidad de padecer desórdenes músculo-esqueléticos y fatiga por mantener posturas forzadas o estáticas.

3.2.2 Biomecánica de la mano

Son muy importantes y diversas las acciones y funciones del quehacer diario en las que intervienen las manos y la mayoría de ellas son motrices. En el caso particular de la acción motriz de agarrar un objeto (Mariangel, N. C. & Silva, Ó. M., 2011), la mano se ahueca en la zona de la palma y forma una concavidad, cuyos bordes se encuentran delimitados por tres puntos: el meñique, el índice y el pulgar.

Desde un punto de vista motriz, la compleja organización anatómica y funcional de la mano converge en la prensión, pues en el acto de agarrar un objeto con la mano, interviene una estructura

de cinco radios, compuestos a su vez de varias piezas articuladas y que poseen una cierta autonomía de movimiento (Taylor et al. 1955).

Barmakian (1992) encontró lo siguiente:

...al asir un objeto el 77% de la flexión de los dedos se realiza en las articulaciones metacarpo falángicas y el 23% en las interfalángicas, pero de ellos el 85% se produce en las articulaciones interfalángicas proximales y solo el 15% a expensas de las interfalángicas distales. Por lo tanto, para las acciones principalmente de prensión, las dos articulaciones importantes para los últimos cuatro dedos son: la metacarpofalángica y la interfalángica proximal. En cambio, en el pulgar las articulaciones carpometacarpiana e interfalángica dan movilidad y la metacarpo falángica es la encargada de aportar la estabilidad.

3.3 Ergonomía laboral

IEA (2006) plantea la definición de Ergonomía como:

...entender la interacción entre el hombre y otros elementos del sistema. Esta profesión aplica teorías, principios, datos y métodos para diseñar un orden con la finalidad de lograr el bienestar humano. Además, el Ergónomo contribuye en la evaluación y diseño de procesos, trabajo, productos, herramientas, entornos y sistemas, con la intención de compatibilizar las necesidades, habilidades y limitaciones de las personas.

Es imprescindible tener en cuenta la antropometría humana en los entornos laborales, con el fin de evitar posibles lesiones y sobrecargas del sistema musculo esquelético por la falta de elementos ergonómicos, el uso inapropiado de las medidas antropométricas, las malas posturas y los movimientos repetitivos y por jornadas prolongadas.

La Biomecánica Laboral (Chaffin, 1999) permite entender las interacciones de los trabajadores en sus puestos de trabajo con sus respectivas herramientas, máquinas y materiales con la finalidad de reducir los riesgos laborales y optimizar el rendimiento. La mayor o menor presencia de factores de riesgos laborales incide en la probabilidad de aparición de trastornos musculo esqueléticos.

De acuerdo a Dempsey (1998):

Las tareas que implican manipulaciones manuales de implementos por su propia naturaleza ejercen tensiones físicas al operador, que se manifiestan principalmente en el sistema cardiovascular y en el sistema músculo-esquelético. Si estas tensiones superan la capacidad del propio sistema, se pueden generar malestares, fatiga y lesiones.

Cuando la lesión se produce en el contexto laboral se clasifica como desorden músculo-esquelético relacionado con el trabajo (WMSDs) (Hagberg, 1996). En estos casos, los empleadores asumen los costes de la rehabilitación e indemnización del trabajador lesionado, debido a que la

causa del accidente o lesión está estrechamente relacionada con el entorno laboral. La prevención de los WMSDs permite a la empresa aumentar la productividad y evitar bajas en los trabajadores, minimizando el coste económico destinado para las compensaciones a los lesionados. Siendo de vital importancia la divulgación de medidas de seguridad y la prevención laboral en cada una de las áreas de la empresa, para evitar posibles incidentes.

Existen casos que deben ser subvencionados por el propio gobierno del país. En los Estados Unidos, por ejemplo, donde los desórdenes músculo-esquelético relacionados con el trabajo son la primera causa de discapacidad, se estiman en 215 mil millones de dólares al año los gastos en rehabilitación (Vernaza, 2005).

Varios autores (Vergara, 2008; Kumar, 2001; Vernaza, 2005) plantean que entre los principales riesgos que inciden en los trastornos músculo-esqueléticos relacionados a las actividades laborales se encuentran las posturas forzadas, la manipulación manual de cargas, los movimientos repetitivos, las herramientas vibrantes y las malas técnicas de ejecución de tareas.

Llaneza (2007) puntualiza que, al conseguir una adaptación óptima y recíproca del hombre a su trabajo, mejorará el desempeño y el bienestar del operador.

3.3.1 Salud laboral y el ámbito de trabajo relacionado con el uso de computadoras

Según datos del INEGI publicados en FayerWayer (2012), ya desde esa época, cerca de 42.3 millones de mexicanos, con edades que oscilaban entre 12 y 34 años, contaban con computadoras, ya fuesen de escritorio o laptop, lo cual era una alerta de que casi el 50% de la población estaba propensa a sufrir daños, pues eran jóvenes que en un futuro pasarían una vejez de baja calidad.

Una persona en promedio pasa 8 horas frente a la computadora de escritorio según Hodelin (2016) lo que conlleva a una serie de riesgos, sobre todo cuando no ha sido diseñada para un espacio de trabajo de largas horas. Además, el empleo de la laptop como herramienta de trabajo en el caso de los FreeLancer, que en México han aumentado un 33% según Carrera (2017); se indica que una persona utiliza el espacio de su casa para trabajar y que en la mayoría de las veces no está acondicionado ergonómicamente, y por lo general utilizan la laptop en lugar de una computadora de escritorio, porque esta le proporciona movilidad y el beneficio de usarse tanto en casa como en escuelas y trabajos.

Hodelin (2016) explica algunos de los riesgos físicos a los que el usuario se enfrenta al usar excesivamente las computadoras relacionados con las manos:

- Desórdenes del tendón resultado de una mala postura, causado por las muñecas que flotan en el teclado, o por una mala posición de las manos al escribir en el teclado que obliga a encoger los hombros y evita el movimiento libre de los brazos.
- Lesiones por esfuerzo repetitivo como el uso del ratón y la incorrecta posición al agarrar el mouse (Figura 3.4), e incluso al usar el mouse pad doblando las manos hacia dentro.



Figura 3.4. Posición incorrecta de la mano al usar el mouse.

Además de ellos existen problemas que son de carácter cognitivo y de interfaz, que a la larga provocan fatiga mental y gestión de trabajo lento. El teclado pocas veces esta entendible para cada región del mundo, como es el caso de los teclados en otros idiomas. Los puertos están colocados de tal manera que no permite que el usuario pueda cumplir con sus tareas de forma satisfactoria.

Estos problemas o riesgos a los que se enfrenta el usuario parecen pequeños, a la larga pueden impactar en problemas graves, lo que permite que la vida y el espacio de trabajo ergonómicamente no sean saludables, promoviendo la fatiga y disminuyendo la productividad.

3.3.2 El rol del mouse y de su uso, dentro de la ergonomía del puesto de trabajo

El diseño del mouse ha variado desde su primer modelo comercializado. El avance de la tecnología y el ajuste de sus dimensiones a la antropometría de la mano han condicionado su

evolución en diversos modelos de mouse: alámbricos, inalámbricos, de diferentes tamaños dependiendo de su uso y la necesidad. Esto ha ocasionado también un enfoque en el aspecto ergonómico, debido a que su uso prolongado ha generado lesiones en manos, muñeca y dedos.

Cerca de 40 millones de trabajadores europeos que son afectados por actividades relacionadas con el uso del mouse, presentando síntomas como cansancio, molestias y traumatismos músculo-esqueléticos en los dedos, manos o muñeca, así como, en el codo y el hombro. Los costos aproximados del tratamiento de estas afectaciones supera los 2.1 millones de euros solamente en Holanda, por citar un ejemplo.

En los últimos tiempos, se han dedicado numerosos estudios médicos a los trabajos frente al ordenador. Un aspecto importante que ha centrado la atención es la posición, tanto de manera general, como la posición de la espalda, los brazos y las manos, en particular, los cuales se ven afectados por lesiones en los músculos, tendones, ligamentos y nervios. Los problemas derivados de un inadecuado posicionamiento de los brazos, codos, manos y falanges, que se han venido incrementando en el tiempo, por un mayor y más prolongado uso de las computadoras personales, generan lesiones y dolencias que requieren desde solicitar bajas laborales hasta intervenir con tratamientos médicos y hasta quirúrgicos.

Dentro de los principales problemas relacionados con el uso del mouse se encuentran:

- La pose a la que adopta el usuario es una pronación total del codo de 90°, seguida de una flexión dorsal de la muñeca de 45° y desviación ulnar, con flexiones de las falanges.
- Se dan movimientos repetitivos con el uso de este aparato. Los ángulos que se hacen más repetitivamente son: abducción y aducción del codo entre 45° de cada uno desde la línea media del plano sagital, con movimientos hacia los lados en la muñeca afectando los músculos y el nervio carpiano.
- La adaptación a una posición inadecuada de agarre del objeto para poder utilizarlo
- Los mouses que existen tensan los músculos del brazo en el antebrazo, hombro y muñeca, y aun así los mouses ergonómicos no se adaptan a todo tipo de usuarios, los cuales incluso padecen de afectaciones del sistema músculo esquelético y cada paciente tiende a tener necesidades específicas por cada padecimiento.

3.4 Estado del Arte

3.4.1 Productos existentes

Para la evaluación y análisis funcional, de uso, formal, contextual y estético del producto que se diseñará en esta investigación, se analizaron un grupo de dispositivos existentes que se comercializan en tiendas online (Tabla 3.1):

Tabla 3.1. Análisis de productos similares y homólogos existentes.



<p>Similar 1: Capol (Finger Exerciser Ball), fortalecedor de mano y estiramiento de dedo, mano fortificante, entrenamiento de fuerza para atletas, músicos y terapia física</p> 	<p>Descripción -Funciona como una terapia de mano bola para aumentar la fuerza y rango de movimiento. Para última etapa de ejercicio de rehabilitación de todo el dedo, dedo, mano, muñeca, antebrazo y codo, túnel carpiano.</p> <p>Ventajas -Ejercicios de los músculos extensores con frecuencia para evitar y aliviar los síntomas del túnel carpiano por esfuerzos repetitivos. -Proporciona formación básica de agarre para rehabilitación las manos</p> <p>Desventajas -Se debe dejar de utilizar el mouse o el teclado para poder hacer la fisioterapia. -No indica la posición correcta de la muñeca para evitar comprimir el nervio mediano</p>
<p>Similar 2: Chickwin 3PCS, ejercitador de fuerza de mano y dedos, entrenador de banda, resistencia, ejercicios y rehabilitación de mano y dedos</p> 	<p>Descripción -Ayuda a corregir inestabilidades en los dedos -Ejercitador de la mano con agarre de dedos y pulgar -Rehabilitación del STC</p> <p>Ventajas -para hombres, mujeres, ancianos y adolescentes se realizan las repeticiones mientras viaja, en la oficina o en cualquier lugar</p> <p>Desventajas Se debe dejar de utilizar el mouse o el teclado para poder hacer las repeticiones. No indica la posición correcta de la muñeca para evitar comprimir el nervio mediano.</p>

Tabla 3.1. Análisis de productos similares y homólogos existentes (continuación).

<p>Similar 3: StringyBall, bola de estrés de en una cuerda</p> 	<p>Descripción</p> <ul style="list-style-type: none"> -Para reducción de estrés y rehabilitación Síndrome del Túnel Carpiano. -Se aprieta la bola unida a un cable flexible con un sujetador ajustable que se puede deslizar y usar en la muñeca o la palma. -Las bolas de compresión se fabrican con caucho termoplástico <p>Ventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> -Facilidad de uso. -Se puede utilizar en cualquier lugar. -El dispositivo no se cae y se desliza porque tiene una cuerda que se ajusta a la muñeca. <p>Desventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> -Se debe dejar de utilizar el mouse o el teclado para poder hacer las repeticiones. -No indica la posición correcta de la muñeca para evitar comprimir el nervio mediano
<p>Similar 4: Muñequera de presión 3M Futuro</p> 	<p>Descripción</p> <ul style="list-style-type: none"> -Guante con orificios para el dedo meñique y el pulgar y una correa tensora que circunscribe la región metacarpiana de la mano en oposición fija entre sí. <p>Ventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> -Permite movilidad de los dedos índice, del medio y anular. -Se inmoviliza la muñeca para reducir el estiramiento del ligamento carpiano. <p>Desventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> -No limita los movimientos de la muñeca.

3.4.2 Patentes

Para organizar la búsqueda y análisis de los dispositivos registrados en las diferentes oficinas de propiedades intelectuales similares al producto que se desea diseñar en esta investigación, se estructuró metodológicamente la exploración en 3 fases (Aguilar-Duque et al., 2018), facilitando la selección final de 9 dispositivos de rehabilitación para el síndrome del túnel carpiano que se analizarán con más detalle, describiendo sus características y comparando las ventajas y desventajas de cada uno con respecto a determinados aspectos.

Fase 1:

Se realizó una búsqueda documental de patentes existentes para dispositivos de rehabilitación ortopédica, utilizando los motores de búsqueda profesionales Patbase y Google Patent, que se analizaron para seleccionar una muestra de patentes a evaluar.

Para encontrar esta lista, se utilizaron las palabras del motor de búsqueda: dispositivo, rehabilitación, ortopedia, mano, miembro mayor, síndrome del túnel carpiano, trastornos del músculo esquelético, férula, muñeca, impresión 3D, congelar.

Al principio, se obtuvieron dos registros de patentes de los motores de búsqueda Patbase y Google Patent, que se analizaron para determinar qué dispositivo podría estudiarse para su posterior selección. Cada registro constaba de 160 y 153 patentes respectivamente. Estos resultados generales se filtraron teniendo en cuenta que todos los dispositivos eran de la extremidad superior, en los que se detectaron 100 y 142 patentes centradas en la rehabilitación ortopédica de la extremidad superior (Tabla 3.2).

Tabla 3.2. Listado de patentes de dispositivos de rehabilitación ortopédica.

Patent No.			
Motor de búsqueda - Patbase		Motor de búsqueda - Google patent	
US2011066095A	US2017224520A	US5413553	US6383157
US2012116277A	US5453064A	US20180289522A1	US20020035342A1
US6482168B	US5499820A	US4677971	US20040049141A1
US3117786A	US2017065448A	US5417645	US4854309
US3152337A	CA168293S	US6045517	US5108057
US3605120A	US5921945A	US6352516	US5203527
US3605120A	US5921945A	US6352516	US5203527
US2006253951A	US2005165338A	US20020180693A1	US5234186
US2016136030A	US2005124464A	US20100125266A1	US5340067
US2009192420A	US2008154164A	US20130072836A1	US5433407
US2007142891A	US2008119700A	US20130328770A1	US5562270
US2016136030A	US1726728A	US6059819	US5678266
US5836902A	US4765319A	US6084576	US5730711
US4781178A	US5613938A	US6362811	US5788195
US2015157483A	US2006211964A	US6489947	US5868365
US2008248927A	US4698850A	US6664947	US5892499
US2006155231A	WO18136748A1	US6962311	US5918839
US5652955A	US1716221A	US7834851	US6039292

Tabla 3.2. Listado de patentes de dispositivos de rehabilitación ortopédica (continuación).

US3703894A	US2012059298A	US20020163495A1	US6048325
US3944220A	EP1172075A1	US20030169236A1	US4862877
US2009099492A	US2015290011A	US20040233169A1	US5160314
USD835288S	US4846473A	US20050121562A1	US5267943
US2003162634A	US2010292621A	US5950628	US5366436
US3581740A	US4558694A	US5967947	US5453064
US4787376A	US3612521A	US6146347	US5600849
US2007028357A	US2004106889A	US6228001	US5916187
US5295948A	US3555564A	US6443921	US20100022930A1
US4445507A	USD835792S	US6517501	US6708346
US2006149180A	US5485856A	US6530893	US5557805
US4451044A	US5787896A	US6808502	US5868692
US2018049906A	US2006069335A	US6852067	US20070152110A1
US2010113996A	US2012167272A	US7311686	US20070252050A1
US2016206023A	US2005015172A	US7537577	US20180329520A1
US2018153745A	US4716892A	US7637883	US5681268
US3818905A	US4027666A	US20030004041A1	US5829099
US2016074203A	US4173218A	US20030135142A1	US6216276
US4883073A	US2013338556A	US20040186402A1	US6724366
US4960114A	KR101654585B	US20060149180A1	US6988295
US2014081188A	US2006015980A	US20070156158A1	US8460160
DE202004015822U1	US3779550A	US20080081746A1	US20060033710A1
US4719906A	US2005101897A	US20090062707A1	US20070062006A1
US2012204304A	US4945925A	US20090171257A1	US20100156783A1
US4977890A	US2006084333A	US20110208100A1	US20120316485A1
US3903878A	US4782825A	US20120253244A1	US1627382A
US2018357348A	US4675914A	WO1997023176A1	US3327703A
US2006089583A	US4798199A	WO2005117774A1	US4193135A
US4183098A	US3788307A	US5163443	US4438532A
US2014024987A	US4161175A	US5301683	US4561122A
US4167044A	US4706658A	US5813977	US4709694A
EP1894546A1	US8970558B	US5881730	USD295897S
US4949711A	US3911497A	US5916187	US4779289A
US5807293A		US6129692	

Fase 2:

Del listado anterior se identificaron 64 dispositivos de rehabilitación de la extremidad superior que estaban destinados al tratamiento de STC e inmovilizan el área de la muñeca, de los cuales se revisaron y analizaron sus características formales y funcionales, y cuyos diseños fuesen similares a las férulas convencionales que se venden en farmacias o tiendas en línea, o simplemente su tecnología de fabricación era mediante impresión 3D, quedando así 9 dispositivos seleccionados atendiendo al cumplimiento óptimo de todos los parámetros anteriores, que se agruparon en dos grupos de acuerdo con su tecnología de fabricación: dispositivos de fabricación tradicionales, que constan de 5 patentes, y dispositivos de fabricación aditiva, que constan de 4 patentes. Se describieron sus características y funcionalidad (especificando título, número de patente, inventor, fecha y país donde se registró la patente), como se muestra en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Descripción de las características y funcionalidad de los dispositivos.

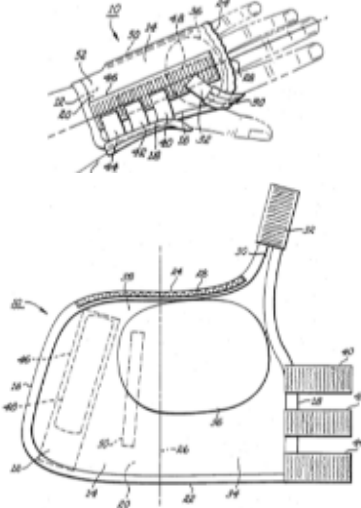
<p>Dispositivo 1: Dispositivo reparador para el tratamiento del síndrome del túnel carpiano</p> <p>Información: No. US4883073 / Inventor: Farooq Aziz / Fecha: 3-Jul-1989 / País: Estados Unidos</p>  <p>Fuente: Aziz, F. (1989). <i>Remedial device for treatment of carpal tunnel syndrome</i>. No. US4883073. Ohio: United States Patent.</p>	<p>Descripción: Soporte ortopédico de la muñeca para mejorar el tratamiento médico del síndrome del túnel carpiano</p> <p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> • sustrato flexible dimensionado para ajustarse al antebrazo del usuario • medios de sujeción liberables aseguran una fácil colocación a la muñeca del usuario, por medio de tiras de cobre con sujetadores de tipo gancho y bucle en ubicaciones laterales. • partes unidas entre sí de manera integral, al estar cosidas directamente al sustrato de tela los medios de sujeción liberables y la almohadilla de amortiguación <p>Funcionalidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> • restringe los movimientos de la muñeca en dirección vertical como horizontal del antebrazo hasta máximo 10 grados. • fácil colocación y ajuste. • alivia la presión sobre el carpo cuando el usuario manipula la muñeca lesionada. • material con suficiente porosidad para proporcionar algo de ventilación a través del mismo. • colocable indistintamente en la mano derecha o izquierda. • permite realizar la mayoría de las tareas de trabajo habituales sin agravar los padecimientos del STC. • Cómodo y con beneficio terapéutico
---	---

Tabla 3.3. Descripción de las características y funcionalidad de los dispositivos (continuación).

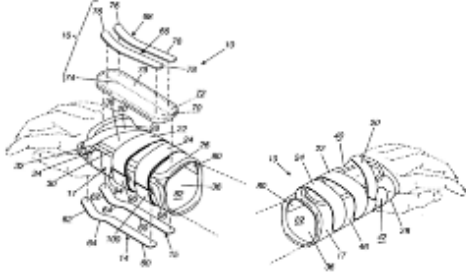
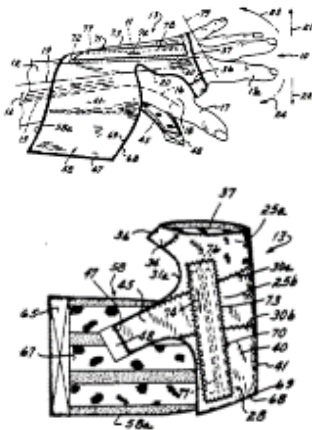
<p>Dispositivo 2: Férula universal para muñeca con soporte dorsal extraíble</p> <p>Información: No. US20040049141A1 / Inventores: E. Gerald Slautterback, Rhonda Machin, Weston, Jody Brown / Fecha: 14-Nov-2002 / País: Estados Unidos</p>  <p>Fuente: Slautterback, E.G., Machin, R., Weston, Brown, J. (2002). <i>Universal wrist splint with removable dorsal stay</i>. No. US20040049141A1. Florida: United States Patent.</p>	<p>Descripción: Dispositivo de soporte universal para la muñeca para prevenir lesiones y para la rehabilitación de diversas afecciones de la muñeca, así como aliviar los síntomas del síndrome del túnel carpiano.</p> <p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● cierre suave y flexible para envolver alrededor de la muñeca del usuario ● estructura de soporte dorsal extraíble para inmovilizar la muñeca y correas para apretar y asegurar el dispositivo. <p>Funcionalidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Facilita la rehabilitación de la muñeca en diferentes etapas. ● Mantener la muñeca y la mano en una posición neutra, de levantamiento de 15 grados, desde la horizontal. ● Evita los movimientos de flexión y extensión de la muñeca ● Tamaño ajustable a diferentes de tamaños de manos de los usuarios.
<p>Dispositivo 3: Abrazadera de Mano</p> <p>Información: No. US5014689A / Inventores: Paul K. Meunchen, Edward T. Durkin / Fecha: 21-Feb-1990 / País: Estados Unidos</p>  <p>Fuente: Meunchen, P.K., Durkin, E.T. (1990). <i>Hand brace</i>. No. US5014689A / Boston: United States Patent.</p>	<p>Descripción Aparato ortopédico mejorado para ayudar a reducir el impacto del síndrome del túnel carpiano y también la condición de DeQuerveins.</p> <p>Características</p> <ul style="list-style-type: none"> ● secciones dorsales y palmar de la muñeca integradas al lado distal y proximal ● orificio para los dedos y área para el pulgar delimitada por correa que conecta la sección palmar con la sección dorsal al ensamblarse el dispositivo. ● componentes estructurales de una abrazadera manual ● la correa de la muñeca cubre el lado palmar de la muñeca del usuario <p>Funcionalidad</p> <ul style="list-style-type: none"> ● controla o minimiza el trauma acumulativo en la muñeca y ayuda a reducir el impacto del síndrome del túnel carpiano ● ayuda a remediar la condición de las venas DeOuer. ● limita los movimientos de flexión y extensión, y desviación cubital y radial de la mano ● limita el movimiento del pulgar con respecto a la mano. ● fácil instalación del aparato ortopédico en la mano de un usuario

Tabla 3.3. Descripción de las características y la funcionalidad de los dispositivos (continuación).

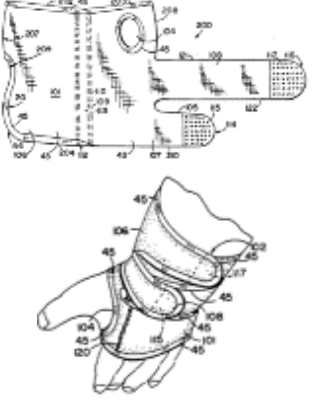
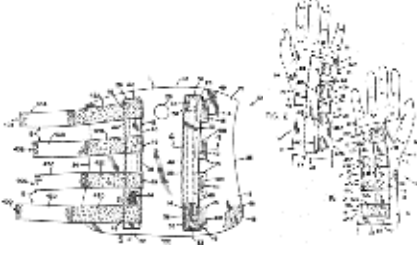

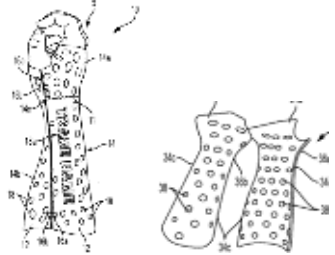
<p>Dispositivo 4: Soporte de la muñeca Información: No. US5160314 / Inventor: Helena Peters / Fecha: 26-Abr-1991/ País: Estados Unidos</p>  <p>Fuente Peters, H. (1991). <i>Wrist support</i>. No. US5160314. Michigan: United States Patent.</p>	<p>Descripción Dispositivo ortopédico que proporciona alivio del dolor y estabilización en el área del carpo.</p> <p>Características</p> <ul style="list-style-type: none"> • soporte corporal unitario adaptado para ser colocado sobre el área de la mano y la muñeca adecuado para adaptarse anatómicamente a la forma de la muñeca en el área del carpo, el antebrazo inferior o distal y el área proximal de la palma • funda construida de un tejido elástico que incluye una capa externa que tiene una textura en bucle cepillado. • correa de compresión integral que se extiende alrededor de la muñeca • medios de fijación de gancho para un enganche liberable con los bucles de tela externos. • cierre ajustable en su extremo de apertura del antebrazo <p>Funcionalidad</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se adapta anatómicamente a la muñeca • Fácil colocación y ajuste a la muñeca
<p>Dispositivo 5: Férula de muñeca flexible Información: No. US4854309 / Inventor: Denise M. Elsey / Fecha: 6-May-1988/ País: Estados Unidos</p>  <p>Fuente: Elsey, D.M. (1988). <i>Flexible wrist splint</i>. No. US4854309. Ohio: United States Patent.</p>	<p>Descripción Una férula flexible para la muñeca para el tratamiento del trastorno de trauma acumulativo</p> <p>Características</p> <ul style="list-style-type: none"> • panel flexible adaptado para rodear el área de la muñeca • correas de sujeción para asegurar panel flexible alrededor del área de la muñeca • tiras flexibles y elásticas dentro de los bolsillos • abertura para la inserción de un pulgar entre los paneles flexibles. <p>Funcionalidad</p> <ul style="list-style-type: none"> • inmoviliza la muñeca para reducir la inflamación de los nervios o tendones dañados. • Permite cierta movilidad de los dedos y el pulgar. • Se puede colocar en cualquiera de las manos, ya sea derecha o izquierda. • utilizable en el entorno laboral.

Tabla 3.3. Descripción de las características y la funcionalidad de los dispositivos (continuación).

<p>Dispositivo 6: Dispositivo de inmovilización postraumática y método de producción del mismo.</p> <p>Información No. US2018357348A / Inventores: Ricardo Veiga Rivero, Jordi Tura Ceide / Fecha: 15-Mar-2017/ País: España</p>  <p>Fuente Rivero, R.V., Ceide, J.T. (2017). <i>Post-traumatic immobilization device and production method thereof</i>. No. US2018357348A. Barcelona: United States Patent.</p>	<p>Descripción Dispositivo de inmovilización postraumática</p> <p>Características</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones de la férula provenientes del escaneado del brazo del paciente. • Compuesta por 2 piezas independientes cuya forma solo establece una posición de ensambladura que al unirse conforman la férula en sí. • Unión de piezas por medio de anillas tóricas elásticas colocadas sobre salientes de cada pieza • Material biocompatible y no poroso, adecuado al contacto con la piel. <p>Funcionalidad</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mantiene inmóvil el área afectada mientras se usa el dispositivo. • Fácil higienización. • Fácil colocación en el brazo y fijación rápida y sencilla de las 2 piezas independientes. • Anillas elásticas que permiten cierto estiramiento en caso de inflamación del área afectada.
<p>Dispositivo 7: Aparato adaptable personalizable</p> <p>Información No. US2016074203A / Inventor: Diana Hall / Fecha: 12-Sep-2015/ País: Estados Unidos</p>  <p>Fuente Hall, D. (2015). <i>Customizable fitted apparatus</i>. No. US2016074203A. Colorado: United States Patent.</p>	<p>Descripción dispositivo ajustado personalizable para inmovilizar lesiones</p> <p>Características</p> <ul style="list-style-type: none"> • pared lateral cerrada dividida en una o más secciones de carcasa, las cuales se pueden unir usando clips de retención y formar una o más costuras longitudinales dentro de la pared lateral del dispositivo. • pared lateral rígida, excepto por una parte del dispositivo que posee suficiente flexibilidad para la colocación • salientes estructurales en la pared lateral que mantiene la rigidez estructural <p>Funcionalidad</p> <ul style="list-style-type: none"> • Facilidad de colocación • reutilizable • liviano • transpirable • impermeable • estructuralmente estable en múltiples direcciones

Tabla 3.3. Descripción de las características y la funcionalidad de los dispositivos (continuación).

<p>Dispositivo 8: Métodos para integrar sensores y efectores en ortesis tridimensionales personalizadas.</p> <p>Información No. US2017224520A / Inventor: Deniz Karasahin / Fecha: 25-Abr-2017 / País: Turquía</p>  <p>Fuente Karasahin, D. (2017). <i>Methods for integrating sensors and effectors in custom three-dimensional orthosis</i>. No. US2017224520A. Turkey: United States Patent</p>	<p>Descripción férula corporal que incorporan sensores y elementos de tratamiento de lesiones de la muñeca.</p> <p>Características</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estructura corporal compuesta por una red tridimensional que se coloca sobre la muñeca. • sensores cerca de una articulación del cuerpo para detectar el movimiento de la articulación del cuerpo. <p>Funcionalidad</p> <ul style="list-style-type: none"> • detecta el movimiento de la articulación del cuerpo. • monitorea movimientos corporales (flexión, extensión, rotación, pronación y supinación) en tiempo real con sensores (inclinación, estiramiento, fuerza, presión, velocidad, pulso, electromiografía, ultrasonido sensorial, aceleradores, giroscopios, magnetómetros, entre otros) • Ajustable a la anatomía del paciente. • Digitaliza, recopila, almacena y analiza los datos obtenidos por los sensores
<p>Dispositivo 9: Férula y molde impresos en 3D</p> <p>Información No. US20170216078A1 / Inventores: Michael Rivlin, Cynthia Watkins, Alexander R. Vaccaro, Mary Grace Maggiano, Pedro Beredjiklian, Michael J. Sileski / Fecha: 27-Ene-2017 / País: Estados Unidos</p>  <p>Fuente Rivlin, M., Watkins, C., Vaccaro, A.R., Maggiano M.G., Beredjiklian, P., Sileski, M.J. (2017). <i>3D printed splint and cast</i>. No. US20170216078A1. Philadelphia: United States Patent.</p>	<p>Descripción férula impresa en 3D para inmovilizar la muñeca.</p> <p>Características</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2 porciones de carcasas configuradas para al unirse con un mecanismo de sujeción (correas) simulando la silueta de la muñeca y antebrazo del paciente • Material base rígido adaptable a la impresión 3D con un revestimiento polimérico inerte (silicona) compatible con la piel adherido a su superficie externa. <p>Funcionalidad</p> <ul style="list-style-type: none"> • inmoviliza y limita el movimiento de la muñeca. • facilidad de montaje • impermeable • configurado para ajustarse y adaptarse a la mano. • diseño personalizado a cada paciente • transpirabilidad de la piel del paciente • aberturas facilitan la inspección visual de curación, aplicación de medicamentos, exposición de un sitio de inyección, alivio para prominencias óseas. • Permite la realización de actividades cotidianas y deportivas, incluso natación.

Fase 3:

Para demostrar las ventajas y desventajas de los 9 dispositivos de rehabilitación según su fabricación, se conformó una tabla de matriz comparativa (Tabla 3.5) resultante del análisis de las características y la funcionalidad de dichos dispositivos, en la que se evalúan con calificaciones de Baja, Media y Alta ciertos parámetros comunes para las distintas patentes.

Se definieron criterios de medida de las calificaciones por cada parámetro, para definir qué evaluación le corresponde a cada dispositivo según el cumplimiento de los criterios de los rangos de calificación, como se muestra en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4. Tabla de criterios de medida de las calificaciones de la tabla matriz comparativa.

Parámetros	Criterios de medida de las calificaciones		
	Baja calificación	Calificación Media	Alta calificación
Ergonomía	El producto NO posee adecuaciones que permitan usarlo de manera evidente y óptima.	El producto posee adecuaciones que permiten se use de manera evidente pero no óptima.	El producto posee adecuaciones que permiten se use de manera evidente y óptima.
Adaptación antropométrica	El producto NO permite una adecuación a los diferentes percentiles de usuarios.	El producto muestra la posibilidad de adaptarse a percentiles diversos, sin embargo aún resultan insuficientes.	El producto muestra la posibilidad de adaptarse a percentiles diversos, de manera simple y efectiva.
Ajuste	El producto NO permite un ajuste evidente y simple de sus dimensiones, partes y elementos.	El producto permite un ajuste de sus dimensiones, partes y elementos, pero este no resulta ni evidente ni simple.	El producto permite un ajuste evidente y simple de sus dimensiones, partes y elementos.
Colocación	La colocación del producto en la mano, resulta compleja y aparatosa.	La colocación del producto en la mano, resulta poco evidente y poco evidente para el usuario.	La colocación del producto en la mano, resulta sencilla y uy evidente.
Actividades diarias	El producto impide que el usuario pueda realizar el resto de sus actividades cotidianas (lo debe retirar luego del trabajo de oficina).	El producto permite que el usuario pueda realizar solo algunas de sus actividades cotidianas, pero no todas.	El producto permite que el usuario pueda realizar el resto de sus actividades cotidianas (sin retirarlo de la mano).
Comodidad	El producto resulta rígido y poco cómodo para los movimientos de la mano.	El producto resulta semi-rígido y medianamente cómodo para realizar los movimientos de la mano.	El producto resulta flexible y cómodo para realizar todos los movimientos de la mano.
Ventilación	El producto impide se ventile la mano, generando acumulaciones incómodas de sudor y afectando el uso.	El producto impide se ventile óptimamente la mano, generando acumulaciones innecesarias de sudor pero sin afectar su uso.	El producto permite una ventilación adecuada de la mano en su interior.

Higienización	El producto no es lavable y se deteriora con la limpieza periódica, el material del que está construido, pierde propiedades (elasticidad, forma, color, etc.).	El producto es lavable, pero pierde con esta actividad, fácilmente sus propiedades (elasticidad, forma, color, etc.).	El producto es lavable y no se deteriora con la limpieza periódica.
Costos de producción	La producción resulta cara.	La producción resulta medianamente cara.	La producción no resulta cara.
Tiempo de fabricación	Su tiempo de fabricación es complejo y demora gran cantidad de tiempo (días).	Su tiempo de fabricación es medianamente complejo y demora gran cantidad de tiempo (días).	Su tiempo de fabricación es sencillo y demora poco tiempo en completarse.

Tabla 3.5. Tabla de matriz comparativa de características de los dispositivos de rehabilitación del síndrome del túnel carpiano

Parámetros	Dispositivo								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ergonomía	Media	Media	Media	Media	Media	Alta	Alta	Alta	Alta
Adaptación antropométrica	Media	Media	Media	Alta	Media	Alta	Alta	Alta	Alta
Ajuste	Alta	Alta	Media	Alta	Media	Alta	Alta	Alta	Alta
Colocación	Alta	Media	Alta	Alta	Media	Alta	Alta	Baja	Alta
Actividades diarias	Alta	Media	Media	Media	Alta	Alta	Alta	Media	Alta
Comodidad	Media	Media	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Ventilación	Media	Baja	Baja	Baja	Baja	Alta	Alta	Alta	Alta
Higienización	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Alta	Alta	Media	Alta
Costos de producción	Alta	Alta	Media	Alta	Media	Baja	Baja	Media	Baja
Tiempo de fabricación	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Baja	Baja	Baja	Baja

Luego del análisis de los 9 dispositivos, se encontró que todos cumplían con la función de inmovilizar y limitar el movimiento de flexión y extensión, y desviación ulnar y radial de la muñeca, así como aliviar la presión sobre túnel del carpo cuando el usuario manipula la muñeca lesionada, siendo los materiales que las componen compatibles con la piel; y que la mayoría presentaba una fácil colocación y ajuste.

En el primer grupo de dispositivos (1-5), correspondiente a los fabricados tradicionalmente, se encontraron ventajas como que poseen medidas estandarizadas y ajustables para adaptarse a la mayor cantidad de manos posibles; presentan materiales textiles y almohadillas para minimizar irritabilidad de la piel al estar en contacto con el dispositivo demasiado tiempo y aumentar confort

del paciente; fabricación masiva de un modelo; disponibilidad de compra en tiendas en línea o farmacias; algunos de los dispositivos se pueden colocar indistintamente en la mano derecha o izquierda (dispositivo 1,2 y 5) y permiten realizar la mayoría de las tareas de trabajo cotidianas y laborales (dispositivo 1 y 5); y en el caso del dispositivo 3, ayuda a remediar la condición de las venas DeOuer.

Además, estos dispositivos tenían en común ciertas desventajas, tales como la acumulación de humedad y suciedad al absorber la humedad y el sudor; atrapan el calor contra la piel del paciente; no se adaptan correctamente a la anatomía de cada mano; no permite la correcta ventilación de la piel; no son impermeables, por lo que al mojarse se requiere el retiro del dispositivo de la mano hasta que se seque completamente; no son fáciles de higienizar; depende de la disponibilidad en el mercado, patrones de distribución y tiempo de transportación; se requieren de varios materiales y procesos de fabricación para producir el dispositivo.

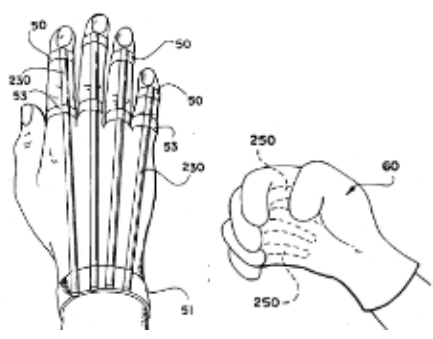
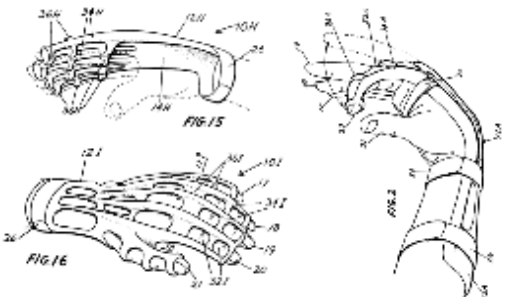
Los dispositivos fabricados a partir de impresión 3D (6-9), pertenecientes al segundo grupo, comprendían un mayor número de ventajas con respecto al diseño del producto en sí ya que, al ser dispositivos personalizados a cada paciente, se logra una mejor adaptación antropométrica a la mano de cada paciente; permiten la transpirabilidad de la piel al estar formados por retículas malladas; de fácil higienización al ser de plástico impermeable y resistente al agua; constan de su propio procedimiento de fabricación; producción rápida; empleo de máximo 2 materiales para sus producciones; se pueden producir en cualquier sitio que cuente con impresora 3D, siempre y cuando se cuente con el material para la producción y el archivo CAD para su impresión; permiten la inspección visual de curación y la realización de actividades cotidianas y deportivas, incluso natación (dispositivo 6 y 9); poseen más prestaciones médicas, como en el caso del dispositivo 8 que detecta y monitorea movimientos de la muñeca y los datos obtenidos por los sensores los digitaliza, recopila, almacena y analiza para mejorar el tratamiento clínico; e incluso pueden personalizarse el diseño estético del dispositivo 9, variando tamaños y formas, pudiendo incluir logotipo corporativo, nombre comercial, logotipos de equipos deportivos, instrucciones de uso y cuidado, recordatorios, nombre de un paciente a gusto del paciente, médico o diseñador.

A pesar de sus numerosas ventajas, también presenta desventajas, tales como que se requiere la presencia física del paciente para el escaneo de la mano afectada y la posterior fabricación de la férula; solo se puede colocar en la mano escaneada, debido al alto ajuste a la anatomía de la mano; este tipo de producción no se puede realizar para producciones masivas porque no cumpliría con los

ajustes antropométricos de cada paciente y los tiempos de fabricación con las impresoras 3D aumentan demasiado.

Otros dispositivos que fortalecen los músculos de la mano se muestran en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6. Descripción de las características y la funcionalidad de los dispositivos rehabilitadores.

<p>Dispositivo 1: Guantes de ejercicio que incorporan varillas que ofrecen Resistencia al movimiento de los dedos, manos o muñeca.</p> <p>Información No. US5453064 / Inventor: Charlton H. Williams / Fecha: 1992 / País: Estados Unidos</p>  <p>Fuente Charlton, W.H. (1992). <i>Exercise glove incorporating rods which offer resistance to movement of fingers, hands, or wrists</i>. No. US5453064. Ohio: United States Patent.</p>	<p>Descripción Dispositivo para ejercitar los dedos, manos, muñecas y antebrazos de un usuario.</p> <p>Características</p> <ul style="list-style-type: none"> • incorpora varillas elásticas flexibles hechas de un material compuesto. • La resistencia a la flexión de las varillas crea la resistencia al ejercicio. • Las varillas se extienden paralelamente a la mano del usuario y por lo tanto permiten al usuario realizar otras funciones con sus manos mientras lleva puesto el dispositivo. • Las varillas y el dispositivo pueden incorporar antimicrobianos para evitar la propagación o el crecimiento de microorganismos. <p>Funcionalidad</p> <ul style="list-style-type: none"> • recuperación de la actividad motora de la mano, la muñeca, el antebrazo, los dedos y el pulgar. • Crea cierta resistencia a la flexión por lo que se utiliza como ejercicio rehabilitador • Abarca toda la mano del paciente y la rehabilita en su totalidad si realiza los ejercicios de forma adecuada.
<p>Dispositivo 2: Férula terapéutica flexible</p> <p>Información No. US5921945 / Inventor: James C. Gray Brown / Fecha: 1995 / País: Estados Unidos</p>  <p>Fuente James C. Gray Brown (1995). <i>Flexible wrist splint</i>. No. US5921945. Florida: United States Patent.</p>	<p>Descripción Férula terapéutica flexible que inmoviliza parcialmente la mano del paciente.</p> <p>Características</p> <ul style="list-style-type: none"> • El cuerpo de la férula define una superficie interior para colocar la mano. • Fabricada de un material elástico, • permite al paciente adquirir la posición corporal de la mano deseada • proporciona un grado de movilidad preseleccionado. <p>Funcionalidad</p> <ul style="list-style-type: none"> • inmoviliza parcialmente la muñeca, la mano, los dedos y el pulgar al colocarlos dentro del soporte flexible del producto. • Permite una determinada movilidad a la muñeca, la mano, los dedos y el pulgar, sirviendo como rehabilitador de la mano.

A partir de la búsqueda de dispositivos de rehabilitación para el síndrome del túnel carpiano registrados en diferentes oficinas internacionales de patentes, se pudieron enumerar y analizar muchos dispositivos de rehabilitación ortopédica de la extremidad superior, identificando cuáles estaban destinados al tratamiento de STC por inmovilización del área de la muñeca y que los diseños son similares a las férulas convencionales que se venden en farmacias o tiendas en línea, o su tecnología de fabricación fue por fabricación aditiva.

Una vez que se examinaron las características formales y funcionales de las patentes y su fabricación, se pudo establecer una comparación entre los dispositivos seleccionados, y algunas de sus características correspondientes a las áreas de rehabilitación, ergonomía, antropometría, biomecánica, análisis de movimiento, fisioterapia, diseño industrial, fabricación y costos fueron evaluados, concluyendo sus respectivas ventajas y desventajas.

Los resultados obtenidos fueron interesantes ya que los dispositivos elaborados con fabricación aditiva facilitan la adaptación antropométrica del producto a la mano del paciente, ya que requieren un proceso de escaneo previo del área afectada y estas medidas varían en cada usuario, eliminando la estandarización del diseño adaptado a la antropometría. tablas que favorecen ciertos percentiles; reduce los costos de producción y facilita el acceso a los dispositivos, ya que pueden fabricarse en cualquier instalación que tenga una impresora 3D, cambiando la forma de comercialización y distribución de estos productos, y cuyo esquema podría aplicarse en otros productos de diferentes áreas de la Salud, pudiendo significar ventaja de los dispositivos impresos en 3D sobre los dispositivos.

4

MÉTODOS

4.1 Tipo de investigación

Se orientará el desarrollo de la investigación de este proyecto por medio del empleo de varios métodos que se utilizarán para avanzar en las distintas etapas establecidas para esta metodología específicamente, para que el resultado final sea más completo y realmente resuelva las necesidades del problema planteado. La investigación será mixta, es decir, cuantitativa con la medición de variables, recolección de información, análisis e integración de datos y cualitativa por los datos extraídos del lenguaje verbal, visual, bases de datos, información narrativa, encuestas, cuestionarios con preguntas abiertas, entrevistas, observación, búsqueda de registros históricos (Sampieri et al. 2014). Adicionalmente se buscará información en bases de datos de patentes y estadísticas de afectación de STC, permitiendo realizar ajustes constantes a la investigación. El enfoque de la investigación permite originar más variedad de datos por medio de distintas fuentes de información y múltiples observaciones. Según la revisión de ciertas definiciones en Grajales (2000), el avance se hará en las diferentes etapas, acercándonos al fenómeno a partir del establecimiento de variables medibles que especificarán características y propiedades que serán de utilidad en el desarrollo, empleo y aplicación del producto diseñado.

4.2 Metodología para el diseño del producto

La investigación se llevará a cabo bajo los conceptos básicos de diseño definidos por Luis Rodríguez y la estructura diseñada para este tipo de investigación, de 6 etapas claves establecidas para guiar el camino de esta metodología personalizada, siendo estas etapas las siguientes y cumpliendo con este orden Necesidad, Problema, Recopilación de Información, Diseño, Proyección y Validación (Figura 5.1).



Figura 5.1. Etapas de la metodología de diseño del proyecto de investigación

La primera etapa denominada Necesidad como se aprecia en la Figura 5.2, parte de la observación de un paciente cero que padecía el STC debido a necesidades existentes en la ergonomía de los puestos de trabajo en oficinas y despachos, específicamente por el uso incorrecto del mouse y el teclado, causando afectaciones musculo esqueléticas tanto dicho caso de estudio como otras trabajadoras que lo padecen, por lo cual se estudiará y analizará dicha área.

Necesidad		
Observación	Recopilación de información -1er nivel	Análisis de la información
Paciente cero: Síndrome del Túnel Carpiano	<ul style="list-style-type: none"> -Elevado uso de computadoras en oficinas. -Posturas estáticas y deficiencias ergonómicas del puestos de trabajo. -Uso prolongado del mouse y el teclado. -Mujeres con de 3 veces más de probabilidad de padecimiento. 	Productos para rehabilitar: <ul style="list-style-type: none"> -Rehabilitación independiente del usuario fuera de la jornada laboral -Alivian el dolor pero no corregen la causa del problema.

Figura 5.2. Etapa 1: Necesidad

Del análisis de la información obtenida en la etapa 1, se pasa a la segunda etapa, Problema, descrita en los capítulos anteriores, la cual contiene el planteamiento de problema, los objetivos principales y específicos, las preguntas de investigación e hipótesis, las delimitantes y alcance del proyecto (Figura 5.3).

Problema		
Planteamiento del Problema	Objetivos	Hipótesis
Diseñar un producto de rehabilitación para mujeres con Síndrome del Túnel Carpiano que permita el uso del mouse y el teclado en su puesto de trabajo.	<ul style="list-style-type: none"> -Diseñar producto de rehabilitación para mujeres con Síndrome del Túnel Carpiano. -Determinar necesidades de rehabilitación de mujeres con STC, materiales adecuados para fabricación y adaptar a las características del usuario y al contexto laboral. 	El uso de un producto compatible con las actividades laborales ayudará a la rehabilitación de mujeres con STC que trabajan en oficinas.

Figura 5.3. Etapa 2: Problema

Para llevar a cabo el proyecto se pretende examinar e indagar sobre los objetivos de este problema de investigación mediante el empleo de estudios exploratorios, dado que el tema será abordado desde una nueva perspectiva poco estudiada: la elevada incidencia del Síndrome del Túnel Carpiano en mujeres que emplean computadoras en sus puestos de trabajo. Además, se aspira a analizar un fenómeno novedoso, que es la aparición de esta lesión del nervio periférico mediano de

la mano en edades tempranas por la alta exposición a movimientos repetitivos por el uso de mouse y el teclado desde las etapas de estudio en las escuelas.

Por medio del estudio exploratorio se identificarán contextos y situaciones de estudio relacionadas con el problema de investigación, de las cuales se obtendrá información más detallada y específica relacionada con el tema a investigar, para posteriormente definir las variables dependientes e independientes y las relaciones que se establecerán entre ellas, determinándose prioridades de estudio para la investigación (Sampieri et al. 2014).

Una vez establecida la guía del proyecto en la etapa 2, se realiza la Recopilación de Información más profunda en una tercera etapa (Figura 5.4), contemplando el estado del arte y el marco teórico alrededor del problema, así como un estudio de campo con datos específicos obtenidos por encuestas y entrevistas realizadas a las usuarios y posibles pacientes afectadas por STC, analizando la información obtenida por medio de los Métodos de Diferencial Semántico y Kano, arrojando requerimientos que deberá cumplir el dispositivo que se desarrollará.

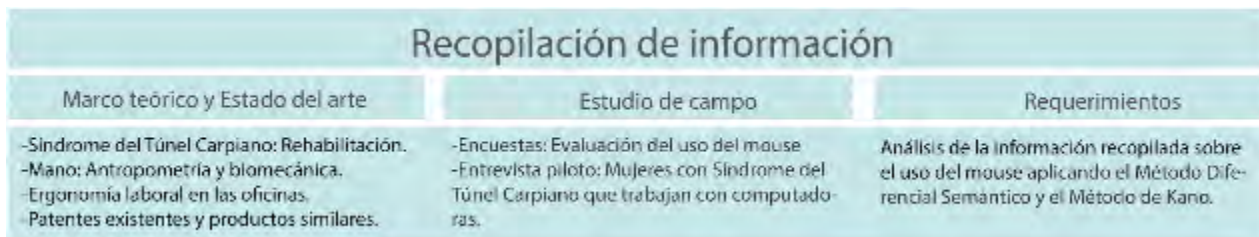


Figura 5.4. Etapa 3: Recopilación de información

4.3 Estructura del estudio de campo

Para el estudio de campo se realizarán una serie de encuestas a diferentes muestras poblacionales para recopilar los datos necesarios para definir los requerimientos de diseño del dispositivo de rehabilitación.

- 1- Encuesta sobre la evaluación del uso del mouse para actividades escolares aplicando las técnicas de diferencial semántico.
- 2- Encuesta sobre la evaluación del uso del mouse para actividades escolares aplicando el método de Kano.
- 3- Encuesta piloto para mujeres que padecen lesiones de los nervios periféricos de la mano y que trabajan empleando computadoras en su puesto de trabajo.

Cada encuesta estará estructurada por nombre de la encuesta, enunciado donde se explicará las actividades a realizar en la encuesta y apartado para criterios o sugerencias de los encuestados al finalizar la encuesta

Dichas encuestas se realizarán en diferentes etapas del proyecto como parte del proceso de retroalimentación del mismo, para que la información recopilada y analizada contribuya al contante mejoramiento y perfeccionamiento de la investigación.

4.3.1 Encuesta sobre la evaluación del uso del mouse para actividades escolares aplicando las técnicas de diferencial semántico

Las encuestas aplicando el Método Diferencial Semántico se aplicaron en una muestra de 30 estudiantes de diseño industrial y de Maestría de Diseño y Desarrollo del Producto de IADA, 18 mujeres y 12 hombres, relacionadas con el uso de mouse para realizar actividades escolares en la computadora de tipo repetitivas y evaluar la comodidad del encuestado al realizar dicha encuesta y la presencia de dolor en la mano o muñeca al efectuarlas. Los objetivos de la misma son diferenciar y distinguir el mejor mouse para trabajos cotidiano, evaluar el uso de los mouses al realizar una tarea determinada y evaluar la presencia de dolor al realizar actividades repetitivas. En el ANEXO 1 se presenta el modelo de la encuesta con su respectiva explicación y descripción de las actividades.

4.3.2 Encuesta sobre la evaluación del uso del mouse para actividades escolares aplicando el método de Kano

Esta encuesta para evaluar el uso del mouse con respecto a su morfología, tenía como principal objetivo determinar posibles requerimientos a tener en cuenta para que el diseño del dispositivo de rehabilitación de la mano, y que este sea compatible con el mouse mientras se usan a la par. Se empleó el Método de Kano para la recopilación e interpretación de los resultados. El modelo de la encuesta aplicada a 40 estudiantes de diseño industrial y de Maestría de Diseño y Desarrollo del Producto de IADA, de ellos 25 mujeres y 15 hombres para el proyecto investigativo se presenta en el ANEXO 2.

4.3.3 Encuesta piloto para mujeres que padecen lesiones de los nervios periféricos de la mano y que trabajan empleando computadoras en su puesto de trabajo

Esta encuesta se aplicó durante el período de verano de investigación en la fecha del 10 de junio de 2019 al 26 de julio de 2019 en La Habana, Cuba, para determinar las posibles mejoras al diseño

del prototipo funcional, que contribuyan a la mejor rehabilitación de la afectación de las pacientes. Se les entregó un listado de preguntas de respuesta tipo Si o No, o definición de un valor dentro de una escala del 1 al 10, así como especificación de cantidad de tiempo en horas y/o minutos. Además de señalar en un esquema las áreas de dolor y proporcionar datos personalizados según la paciente encuestada y su estado médico en general. Se enlistaron un grupo de centros de rehabilitación de las zonas aledañas al Instituto Superior de Diseño de la Universidad de la Habana donde se seleccionó dicha muestra poblacional a la cual se les aplicó la encuesta piloto a las pacientes afectadas con STC por la relación que guarda con el caso que motivó el inicio de este proyecto de investigación. Se presenta en el ANEXO 3 el modelo de la encuesta piloto aplicada a pacientes de las clínicas de rehabilitación seleccionadas en las diferentes áreas poblacionales de estudio para el proyecto investigativo.

Para la rehabilitación en lesiones de los nervios periféricos de la mano que ocurren en la muñeca como son el Síndrome del Túnel Carpiano y el Síndrome del Canal de Guyón, es necesario, primeramente, llevar a cabo la evaluación del dolor y de la sensibilidad, así como, de la funcionalidad, de la afectación nerviosa y del estado general del paciente. Para ello, se emplean cuestionarios, maniobras de provocación de la sintomatología, auto informes y estudios electrofisiológicos. También se hace necesario conocer las exposiciones ergonómicas adversas del paciente, tanto dentro, como fuera de su actividad laboral. Teniendo en cuenta lo anterior, se aplicará primeramente una encuesta piloto a ciertas muestras de tres poblaciones básicas seleccionadas en diferentes regiones que cumplan con determinados criterios de inclusión, a modo de que los datos obtenidos sean lo suficientemente amplios y generales y puedan ser analizados y procesados para su posterior empleo, como se muestra en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Aspectos a tener en cuenta para las encuestas

Población de estudio	-Pacientes que padecieron la afectación y se atendieron en hospitales o clínicas de rehabilitación de Ciudad Juárez o La Habana.
Muestra	-De tipo a conveniencia cumpliendo con los criterios de admisión.
Criterios de inclusión	-Pacientes que presenten una lesión de tipo Síndrome del Túnel Carpiano. -Mujeres entre los 25 y los 60 años. que trabajen en oficinas y empleen computadora diariamente.

Luego de realizar las encuestas pilotos y analizar los resultados obtenidos, se recolectarán los datos necesarios, a partir de los cuales se determinarán los requerimientos de diseño que condicionarán el proyecto mediante los requisitos de diseño.

4.4 Requerimientos de diseño

Del análisis de las encuestas realizadas se recopilará una cantidad dada de información que se traducirán en requerimientos de diseño que definirán el diseño final del producto.

Al realizar el análisis de los datos obtenidos luego de la aplicación de las dos primeras encuestas y del desarrollo de los proyectos de diseño de un mouse anatómico y una laptop ergonómica se definen como requerimientos los siguientes:

- Adaptación antropométrica a la mano del usuario.
- Permitir uso del mouse y teclado
- Mantener la posición de descanso de la mano del usuario.
- Permitir la educación postural y movimientos de la muñeca.
- Ligera.
- Diseño ausente de superficies o aristas cortantes evitando laceraciones
- Fácil higienización.
- Espacio entre la curvatura del mouse y la palma de la mano.
- Sujeción a la mano.

5

CONCEPTO

5.1 Requisitos de Diseño

En la cuarta etapa del proyecto, definida como Diseño (Figura 5.1), fase de creación o concepción, se determinarán requisitos de diseño interpretando los principios de diseño establecidos por Luis Rodríguez, los vectores de la forma (Figura 5.2), para llegar a un macro concepto que se deslojará por estrategias de diseño para ponderar variables diferentes, y lograr variantes conceptuales distintas que permitirán una visualización previa acercada a lo que será el diseño final.

Diseño		
Requisitos de diseño	Concepto	Variantes conceptuales
Desloce de los requerimientos mediante el esquema de Vectores de la Forma de Luis Rodríguez	-Concepto macro -Estrategias de diseño	-Desarrollo de 3 variantes diferentes -Selección de la mejor variante empleando Método de PUGH

Figura 5.1. Etapa 4: Diseño



Figura 5.2. Interpretación del esquema de los vectores de la forma de Luis Rodríguez Morales aplicado al producto que se desea diseñar. Basado en: Morales, L. R. (2004). *Diseño: estrategia y táctica. Siglo XXI.*

Basándose en los Vectores de la Forma de Luis Rodríguez Molares (Figura 6.2) con respecto a un producto, se delimitarán los requisitos de diseño por factores dentro de las diferentes fases del proceso creativo que se presentan en la Figura 5.3.

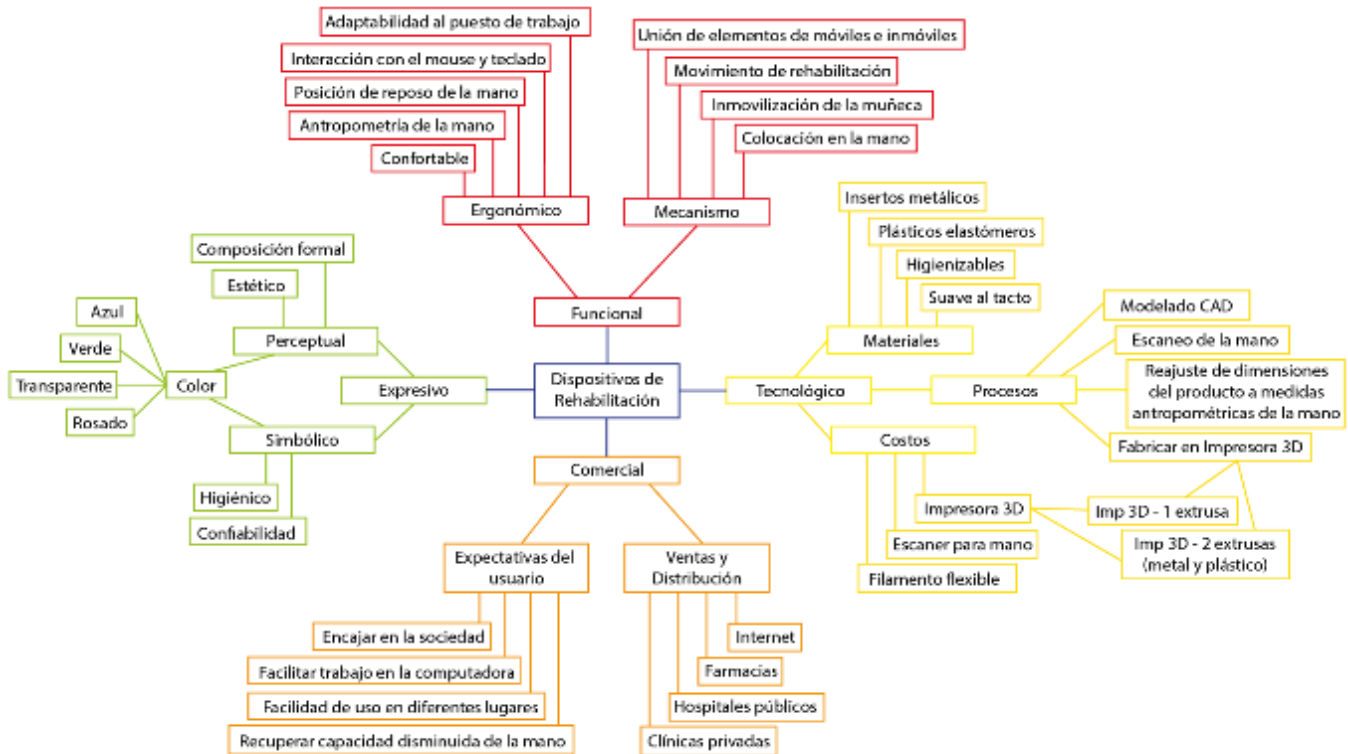


Figura 5.3. Esquema de los requisitos de diseño. Basado en: Morales, L. R. (2004). Diseño: estrategia y táctica. Siglo XXI.

Requisitos de diseño del producto:

Funcional- Ergonómico

- Adaptabilidad al puesto de trabajo
- Interacción y compatibilidad con el mouse y teclado
- Posición de reposo de la mano
- Antropometría de la mano
- Confortable
- Ligero
- Diseño ausente de superficies o aristas cortantes

Funcional- Mecanismo

- Unión de elementos móviles con los inmóviles

- Estructuras necesarias para que el dispositivo pueda variar la posición neutra de los dedos índice y medio.
- Movimiento de rehabilitación a partir de la flexión de de los dedos índice y medio.
- Inmovilización de la muñeca
- Colocación en la mano

Tecnológico - Materiales

- Plásticos elastómeros
- Fácil higienización.
- Suave al tacto

Tecnológico - Procesos

- Modelado CAD
- Escaneo de la mano
- Reajuste de dimensiones del producto a medidas antropométricas de la mano
- Fabricar en Impresora 3D

Tecnológico – Costos

- Filamento flexible
- Escaner para mano
- Impresora 3D

Comercial- Expectativas del usuario

- Recuperar capacidad disminuida de la mano
- Facilitar trabajo en la computadora
- Facilidad de uso en diferentes lugares
- Encajar en la sociedad
- Educación postural de la muñeca al usar el mouse y el teclado

Comercial- Ventas y Distribución

- Clínicas privadas
- Hospitales públicos
- Farmacias

- Internet

Expresivo- Perceptual

- Estético
- Composición formal
- Color transparente, verde, azul, rosado

Expresivo- Simbólico

- Higiénico
- Confiabilidad

Una vez establecidos los requisitos de diseño, se procede dentro de la etapa de diseño al planteamiento de un macro concepto del cual se generarán estrategias de diseño, para desarrollar 3 variantes conceptuales diferentes, que posteriormente se evaluarán con el Método de PUGH y se seleccionará la mejor de estas variantes.

5.2 Concepto

Teniendo en cuenta los requisitos de diseño anteriores, se estableció un macro concepto, donde se propone que sin dejar de lado ninguno de los vectores de la forma, se establecería en orden de prioridad el factor funcional, por su estrecha relación con el objetivo del proyecto, intrínsecamente vinculado con el factor tecnológico que posibilitará que el diseño cumpla efectivamente su función a través de la tecnología de impresión 3D, donde la estética del producto se inclinará más al público meta al cual se dirige, potencializando su comercialización. Se establecen dentro de este macro concepto, relaciones entre los factores que dependen unos de otros.

En la Figura 5.4, se plantean los Vectores de la Forma que se preponderarán, esquematizándolos por escala de intensidad de color, donde los vectores cuyo croma tipográfico es más intenso, serán los que regirán el concepto macro, y los de croma tipográfico menos intenso, se trabajan en dependencia de los ponderados. Las flechas que se grafican representan la relación entre los factores de los vectores de la forma.

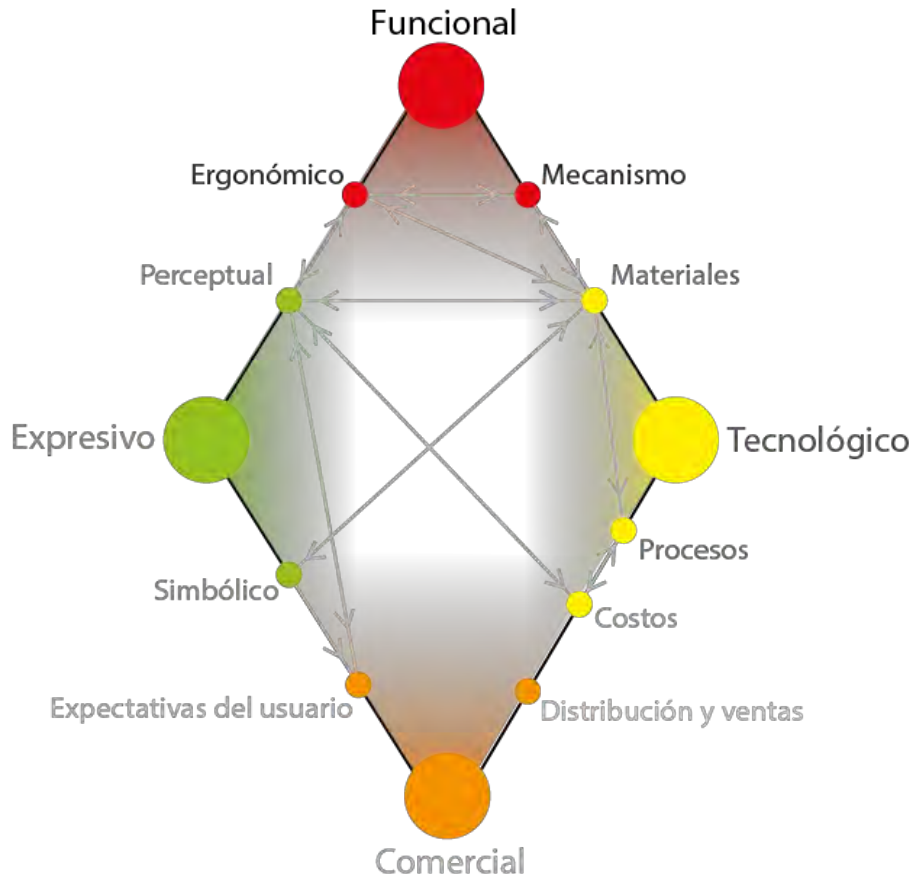


Figura 5.4. Macro concepto. Basado en: Morales, L. R. (2004). Diseño: estrategia y táctica. Siglo XXI.

5.3 Variantes conceptuales

Teniendo en cuenta los requerimientos planteados y los requisitos de diseño establecidos, se proponen 3 variantes conceptuales, siempre poniendo el factor funcional como prioridad.

5.3.1 Variante conceptual 1

Para la primera variante conceptual del dispositivo de rehabilitación, se configuró la forma del producto con una estructura semi-rígida que contorneaba la palma de la mano y llega hasta los dedos índice y del medio, sujetándose a estos por medio de 3 anillas que se sujetan a cada una de las falanges de cada dedo, limitando el movimiento de la muñeca y los dedos, dicha estructura semi-rígida podía variar su posición por medio de la aplicación moderada de fuerza por parte del usuario al intentar cerrar el puño, cumpliendo así su función de rehabilitar el STC al fortalecer por medio

del ejercicio de compresión los músculos del antebrazo. En esta variante el dispositivo está en contacto directo con el mouse y las teclas del teclado. Se visualizan las diferentes vistas del dispositivo colocado en la mano, y su interacción con el mouse y el teclado en las Figuras 5.5, 5.6, 5.7 y 5.8.



Figura 5.5. Vistas del dispositivo de rehabilitación colocado en la mano.



Figura 5.6. Vistas del dispositivo de rehabilitación colocado en la mano mientras se usa el teclado.



Figura 5.7. Vistas del dispositivo de rehabilitación colocado en la mano mientras se usa el mouse.



Figura 5.8. Vistas del prototipo rápido de la variante 1 sin colocar en la mano.

5.3.2 Variante conceptual 2

Para la segunda variante conceptual, la forma del producto responde a una estructura reticulada de material flexible que contornea la muñeca y la parte superior de la mano hasta llegar a los dedos índice y del medio, sujetándolos por medio de 3 anillas en cada dedo que se ubican en las respectivas falanges, limitando el movimiento de la muñeca y los dedos. El área mallada que se encuentra en la muñeca limita el movimiento de esta, y la que se encuentra sobre los dedos posibilita el movimiento de los dedos para realizar los ejercicios de rehabilitación. En esta variante el dispositivo no está en

contacto directo con el mouse y las teclas del teclado. A continuación, se muestran distintas vistas del prototipo rápido del dispositivo colocado sobre y fuera de la mano en las Figuras 5.9 y 5.10.



Figura 5.9. Vistas del prototipo rápido de la variante 2 colocado en la mano.

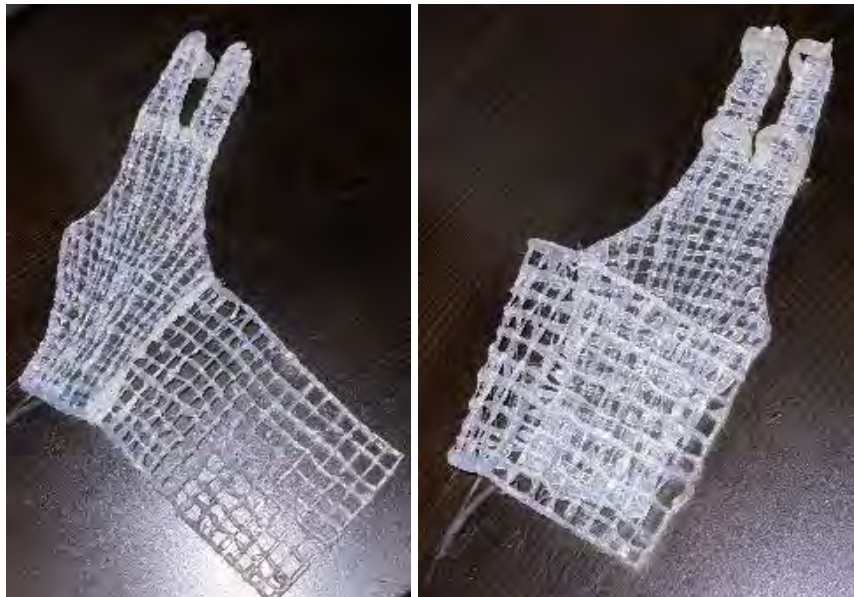


Figura 5.10. Vistas del prototipo rápido de la variante 2 sin colocar en la mano.

5.3.3 Variante conceptual 3

Para la tercera variante conceptual, la estructura reticulada de material flexible posee una trama diseñada inspirada en un motivo floral, respondiendo a la estrategia de preponderar la estética del producto, dicha estructura contornea la muñeca y la parte superior de la mano hasta llegar a los

dedos índice y del medio, sujetándose a estos por medio de ventosas aditivas, limitando el movimiento de la muñeca y los dedos. Se limita el movimiento de la muñeca y posibilita el movimiento de los dedos para realizar los ejercicios de rehabilitación. En esta variante el dispositivo no está en contacto directo con el mouse y las teclas del teclado. Algunas vistas del prototipo rápido del dispositivo colocado sobre y fuera de la mano se observan en las Figuras 5.11 y 5.12.



Figura 5.11. Vistas del prototipo rápido de la variante 3 colocado en la mano.



Figura 5.12. Vistas del prototipo rápido de la variante 3 sin colocar en la mano.





5.3.4 Método de PUGH

Teniendo en cuenta los requerimientos de diseño, se compararon las 3 variantes conceptuales por el Método de PUGH (Tabla 5.1.), para seleccionar el mejor concepto y proceder a la etapa 5,

Proyección, donde se experimentará con alternativas formales la solución para optimizar detalles de la solución.

Para realizar la comparación de las variantes, se eligió como producto de referencia el dispositivo de inmovilización postraumática XKIM "Antebraquiopalmar" analizado a detalle anteriormente en el estado del arte perteneciente a la tercera etapa, Recopilación de Información. Esta órtesis impresa en 3D, conocida como férula Xkelet, fue registrada por la empresa española Xkelet con número de patente US2018357348A, y ha sido galardonada con el prestigioso premio internacional Red Dot Design Award 2016, por su innovación y aportación tecnológica en la categoría "Vida, ciencia y medicina" y fue reconocida en los premios Techconnect Defense Innovation de 2019 por el Departamento de Defensa de Estados Unidos por su "alto valor tecnológico y de impacto" para el ejército estadounidense (ICEX, 2019; Fresno.A, 2019 y ElRadar, 2019) según publicaron sitios de noticias oficiales en septiembre de 2019.

Tabla 5.1. Matriz de PUGH

<p style="text-align: right;">Competencia y Variantes conceptuales</p> <p style="text-align: left;">Requerimientos</p>				
Adaptación antropométrica a la mano del usuario		.-	.=	.=
Espacio entre la curvatura del mouse y la palma de la mano		.-	.+	.+
Posición neutra de la mano en actividades de reposo		.-	.=	.=
Permitir uso del mouse y teclado		.-	.+	.+
Diseño ausente de superficies o aristas cortantes		.-	.=	.=
Ligera		.+	.+	.+
Fácil higienización		.+	.=	.=
Sujeción a la mano		.-	.=	.-
Permitir la educación postural y movimientos de la muñeca		.-	.+	.-
	.+	2	4	3
	.=	0	5	4
	.-	7	0	2
	SUMA	-5	4	1
		BAJO	FUERTE	MEDIO

Al realizarse la comparación del cumplimiento de los requerimientos de diseño, se realizó la sumatoria de los valores, resultando la variante conceptual 2 la más fuerte con el puntaje más alto.

5.4 Experimentación

Una vez seleccionada la mejor variante a través del Método de PUGH, en este caso, la variante conceptual 2, se procede a la experimentación de la solución en alternativas formales para mejorar detalles del concepto de la solución. Se inicia así la etapa 5, Proyección (Figura 5.13) donde se realiza la exploración formal de la variante escogida, la maquetación de las ideas y las mejoras funcionales del modelo para producir el prototipo final.

Proyección		
Experimentación	Prototipo	Ajustes
-Exploración formal de la variante elegida -Maquetación de las ideas -Mejoras funcionales del modelo	-Selección de la mejor alternativa de diseño -Elaboración del prototipo del producto	-Rediseño y ajustes técnicos a los detalles que requieran modificaciones. -Optimización del prototipo

Figura 5.13. Etapa 5: Proyección

De las variantes conceptuales se seleccionó la segunda variante, pasando a la exploración formal de la misma. Se comprobó con los prototipos rápidos, que el cierre del dispositivo se dificultaba dada la tecnología con la cual se fabricaría el producto, por lo que se exploraron alternativas del ajuste del dispositivo a la mano, y maneras eficientes de realizar el cierre con la misma estructura mallada. En la Figura 5.14 se muestran varias vistas del cierre.



Figura 5.14. Bocetos de distintos tipos de cierre y ajuste a la mano del dispositivo.

También se realizaron alternativas de la trama de la retícula (Figura 5.15), con respecto a la cantidad de orificios, los cuales permitirán la transpiración de la mano y la rigidez o movilidad de las partes de la mano, pues este tipo de estructuras impresas en 3D con material flexible, depende del grosor de las aristas o la cantidad de las oquedades de la malla para moverse con mayor facilidad o no.

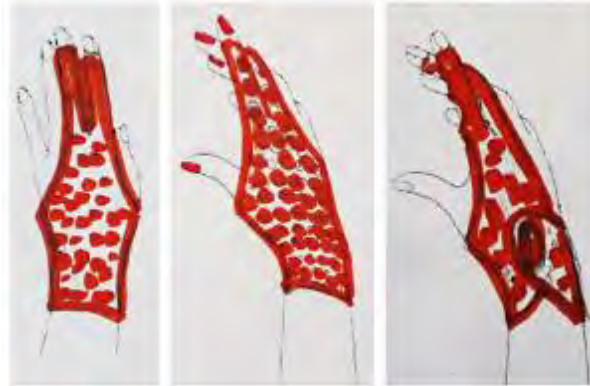


Figura 5.15. Bocetos de distintas tramas de la variante seleccionada.

Por lo que se seleccionó una trama conformada por oquedades ovaladas, que variaran sus dimensiones en dependencia de la parte del dispositivo, posibilitando la inmovilización de la muñeca y la flexión de los dedos. Se visualiza en las Figuras 5.16 y 5.17.



Figura 5.16. Bocetos del estudio de la trama ovalada en el dispositivo.



Figura 5.17. Bocetos de los movimientos que permite realizar la trama ovalada.

5.5 Prototipo

Al seleccionarse la mejor alternativa de diseño, se puntualizan detalles técnicos para la producción del prototipo funcional. En las Figuras 5.18 y 5.19 se muestran los detalles del tramado ovalado del dispositivo.

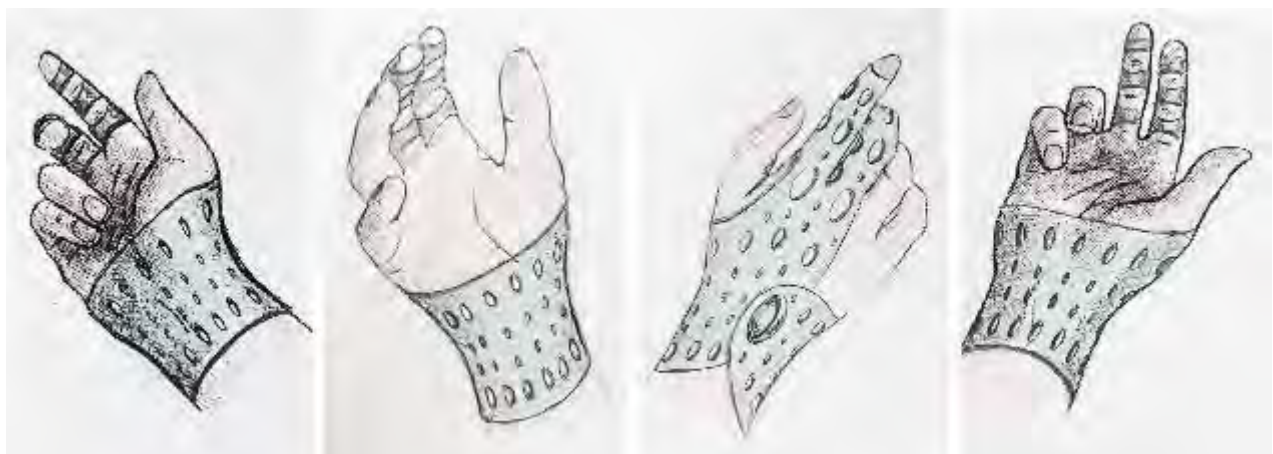


Figura 5.18. Bocetos del tramado ovalado del dispositivo.



Figura 5.19. Bocetos del dispositivo en contacto con el mouse y un lápiz.

Una vez realizadas las plantillas, recolecta de medidas antropométricas de la mano, así como ajustes para el mecanismo de cierre, se procede a la elaboración del prototipo del producto.



Figura 5.20. Elaboración de plantilla personalizada



Figura 5.21. Métodos de elaboración de la plantilla personalizada



Figura 5.22. Vistas del prototipo rápido del dispositivo.

Los pasos para colocar en la mano se indican en las Figuras 5.23, 5.24 y 5.25.



Figura 5.23. Paso 1: Colocar en la mano derecha ayudándose de la mano izquierda



Figura 5.24. Paso 2: Ajustar a la medida de la mano para cerrar.

El mecanismo de cierre del dispositivo proviene de la propia forma del dispositivo, y para el cierre provisional se le colocó velcro para uniones de objetos pesados, para que resistiera más. En el prototipo impreso en 3D se realizará el cierre por forma y contra forma de las mismas partes del dispositivo.



Figura 5.25. Paso 3: Cerrar el dispositivo

En las Figuras 5.26 y 5.27 se muestra el producto en la mano y los movimientos de rehabilitación que se pueden realizar con el dispositivo colocado.



Figura 5.26. Posiciones de la mano con el dispositivo



Figura 5.27. Movimientos de rehabilitación

La morfología del dispositivo permite el agarre ergonómico y confortable del mouse, cumpliendo con uno de los objetivos del proyecto (Figura 5.28).



Figura 5.28. Modo de uso del dispositivo con el mouse

La forma del dispositivo permite la flexión de los dedos índice y dedo del medio, pero limita los movimientos de flexión y extensión de la muñeca, y de desviación radial y ulnar. En la Figura 5.29 se muestra el radio de flexión y extensión de la muñeca normalmente al usar el mouse, y con el dispositivo colocado, el cual limita bastante este movimiento.



Figura 5.29. Movimientos de flexión y extensión de la muñeca

En la Figura 5.30 y 5.31 se muestra el radio de movimiento de desviación radial y ulnar de la muñeca normalmente al usar el mouse y el teclado, y con el dispositivo, siendo apreciable el límite de movimiento de la misma.



Figura 5.30. Movimientos de desviación radial y ulnar de la muñeca al usar el mouse.



Figura 5.31. Movimientos de desviación radial y ulnar de la muñeca al usar el teclado.



Figura 5.32. Movimientos de pinza de la mano al escribir.

Se procedió a la realización de un molde mejorado de la mano, enfocado en el área donde interactuará el producto con la mano como se aprecia en la Figura 5.33.



Figura 5.33. Comparación de los moldes de las manos de los pacientes



Figura 5.34. Proceso de fabricación del prototipo a partir del molde.



Figura 5.35. Vistas del prototipo con ajustes.



Figura 5.36. Posiciones de la mano con el prototipo ajustado



Figura 5.37. Movimientos de desviación radial y ulnar de la muñeca al usar el mouse.



Figura 5.38. Movimientos de flexión y extensión de la muñeca



Figura 5.39. Movimientos de rehabilitación



Figura 5.40. Movimientos de pinza



Figura 5.41. Modo de uso del dispositivo con el mouse

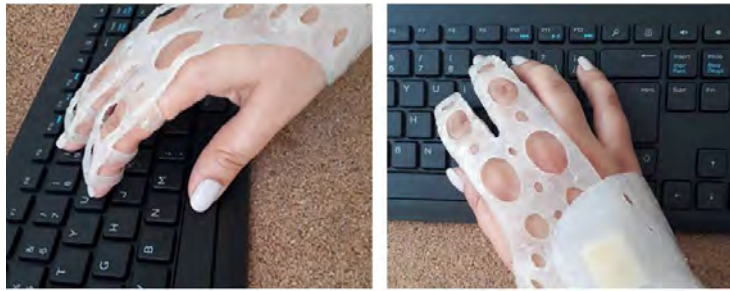


Figura 5.42. Modo de uso del dispositivo con el teclado



Figura 5.43. Sistema de cierre.



Figura 5.44. Comparación del prototipo rápido con el prototipo ajustado

5.6 Ajustes

Para el rediseño y ajuste de detalles técnicos que requerían modificaciones, se procedió a la optimización del prototipo. Durante la producción del prototipo rápido, se detectó que las oquedades ovaladas que iban justo sobre los nudillos de los dedos debían tener mayor tamaño y bordes más finos, permitiendo salir los nudillos entre el dispositivo y así poder flexionar los dedos. La zona de la muñeca debía tener las oquedades ovaladas lo más finas y pequeñas posible, con paredes gruesas, para limitar al máximo el movimiento de la muñeca y la flexión y extensión de la misma.



Figura 5.45. Guantes mayados para escaneado de la mano de la paciente

Se escaneó desde un Ipad el cuerpo entero de una paciente piloto, haciendo hincapié en el área de la muñeca, mano y antebrazo (Figura 5.46). El software ideal sería para este proceso se debería comprar a la empresa española Xkelet, que vende una aplicación de escaneado (XKSS-Xkelet 3D).



Figura 5.46. Visualización del cuerpo escaneado en software 3ds Max.

Para la digitalización de la plantilla frontal del dispositivo, se escaneó por fotos la silueta de la mano de cada paciente que tendría el prototipo para luego vectorizarla en el programa Corel Draw, como se muestra en las Figuras 5.47, 5.48 y 5.49.

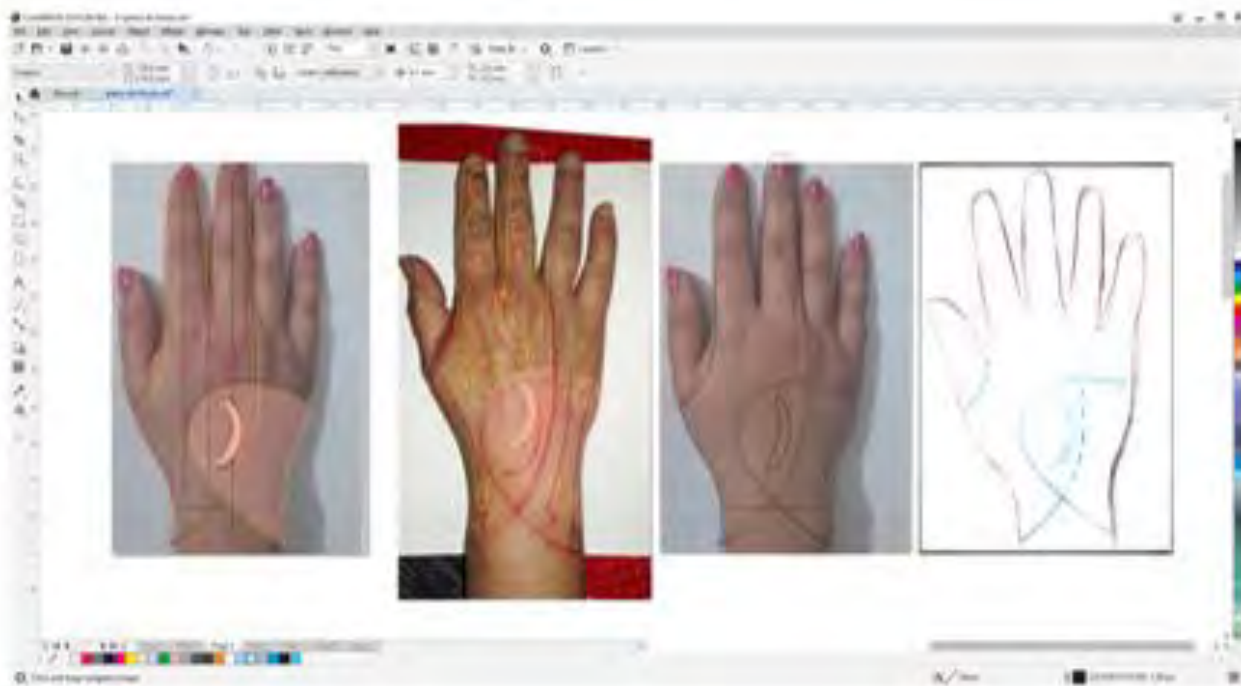


Figura 5.47. Vectorización da la mano en software Corel Draw.

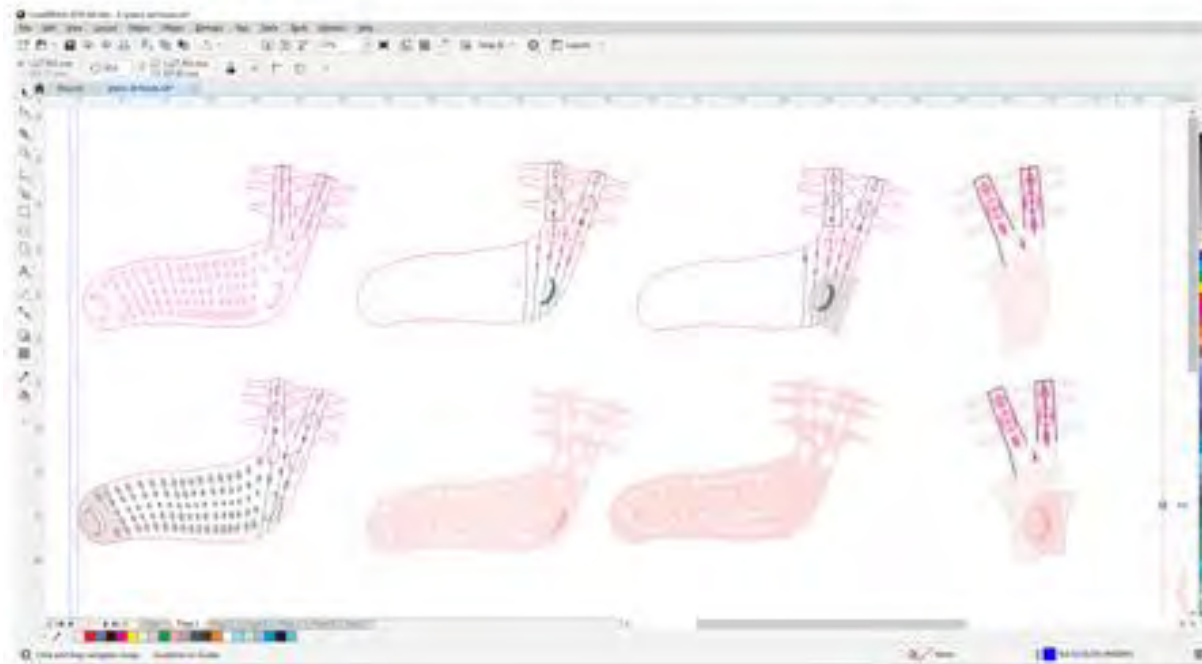
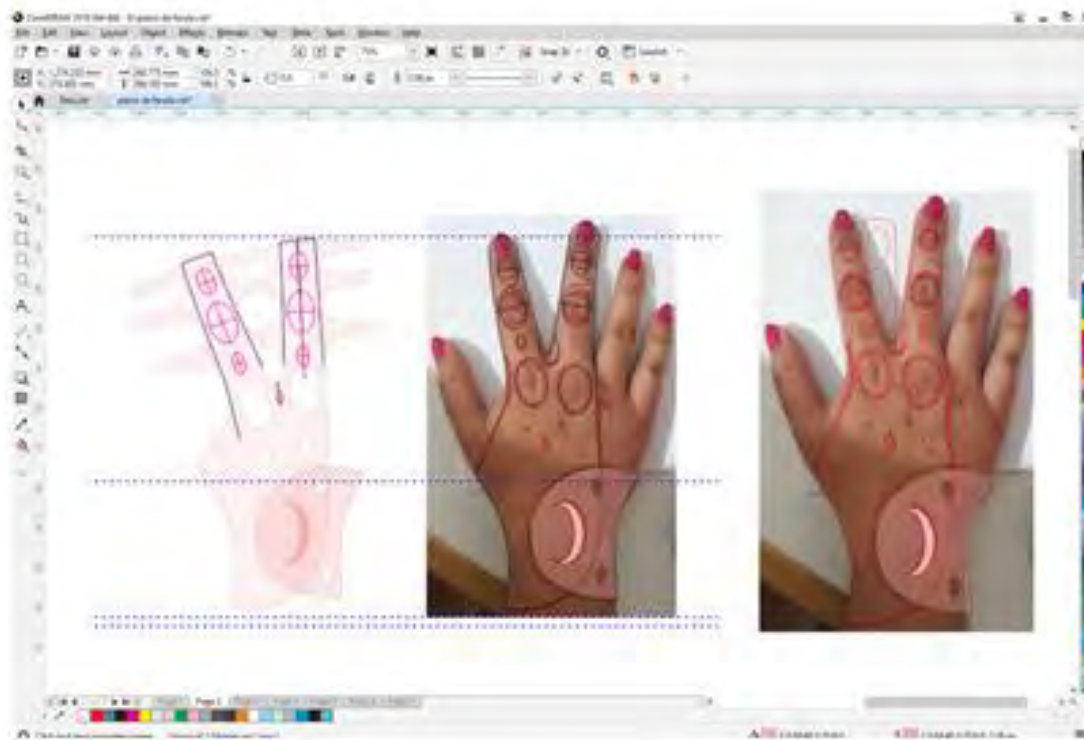


Figura 5.48. Vectorización da la mano en software Corel Draw.

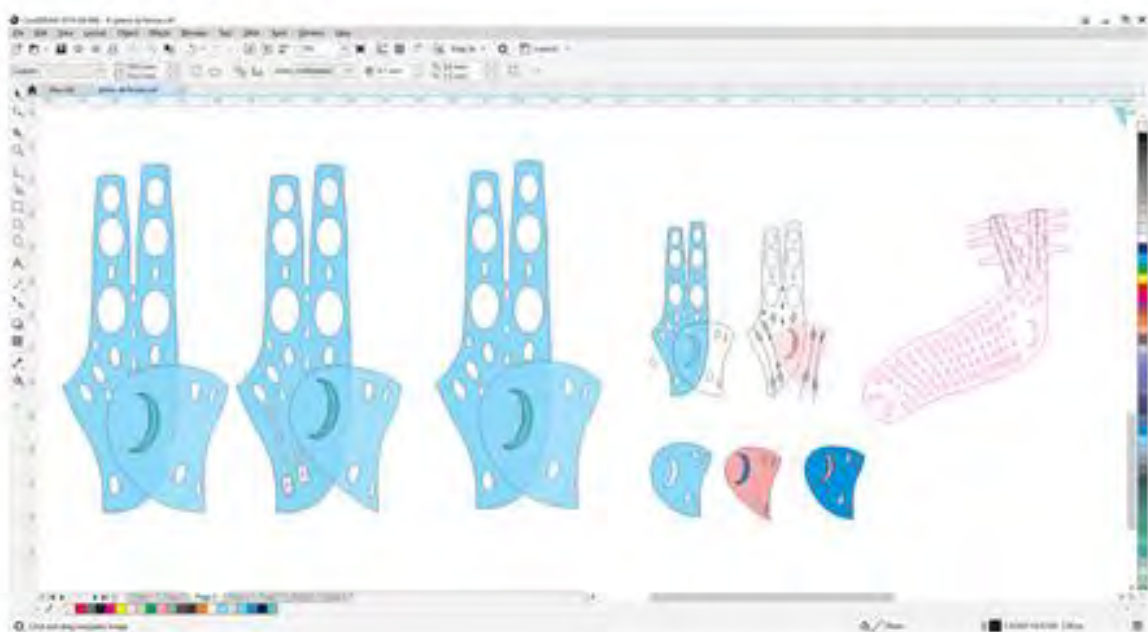
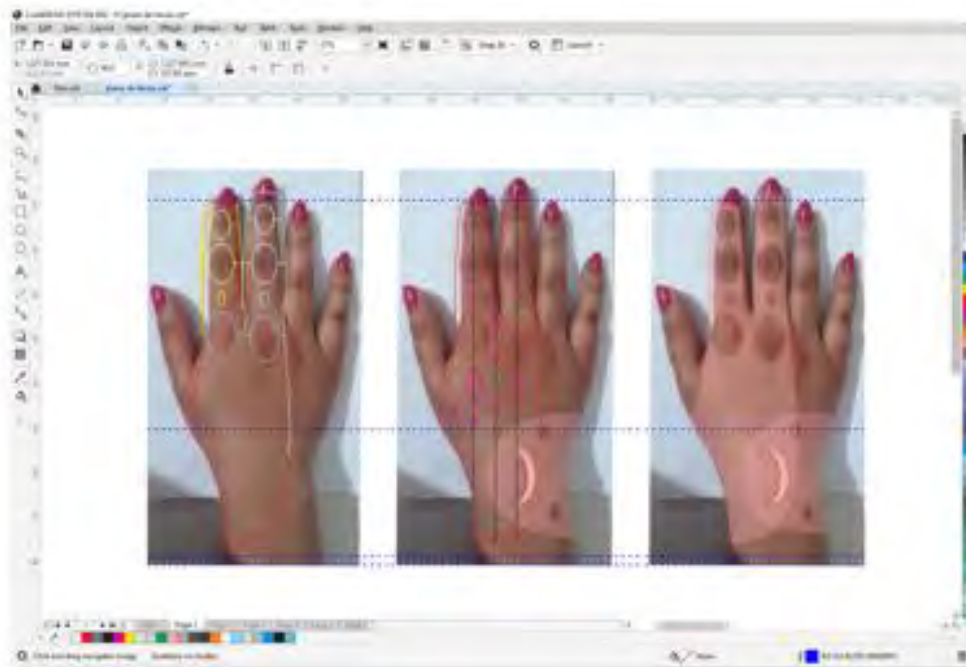


Figura 5.49. Vectorización de la mano en software Corel Draw.

Una vez vectorizada la plantilla frontal del dispositivo en base a las medidas de la mano de cada paciente, se procedió al modelado tridimensional del dispositivo en el programa Autodesk Fusion 360, como se muestra en las Figuras 5.50 y 5.51.



Figura 5.50. Vectorización da la mano en software Fusion 360.

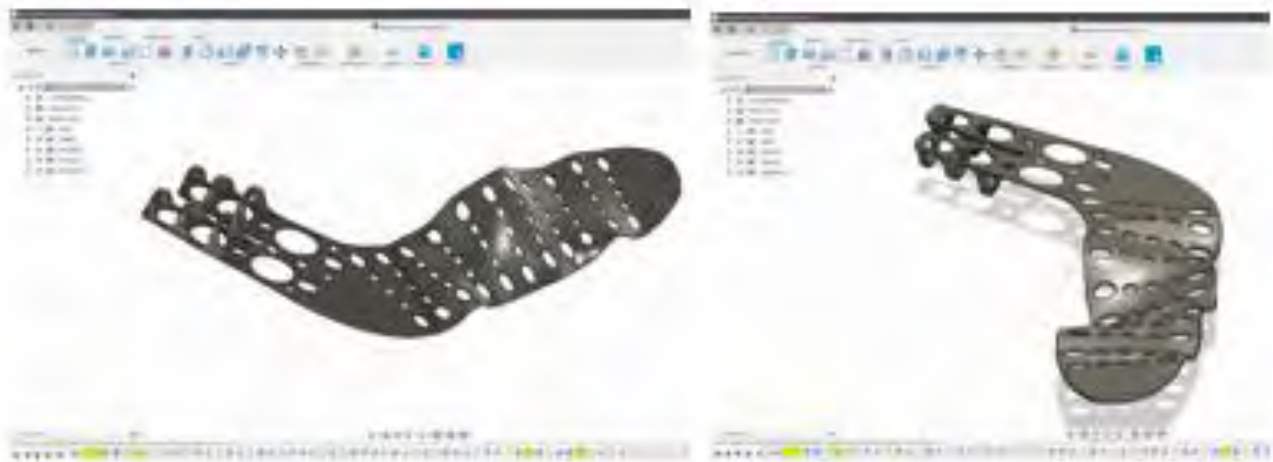


Figura 5.51. Vectorización da la mano en software Fusion 360.

Al concluir el modelado tridimensional del dispositivo, se comienza el proceso de programación de la impresión 3D a partir de los programas Autodesk Fusion 360 (Figuras 5.52 y 5.53) y Ultimaker Cura (Figura 5.54).

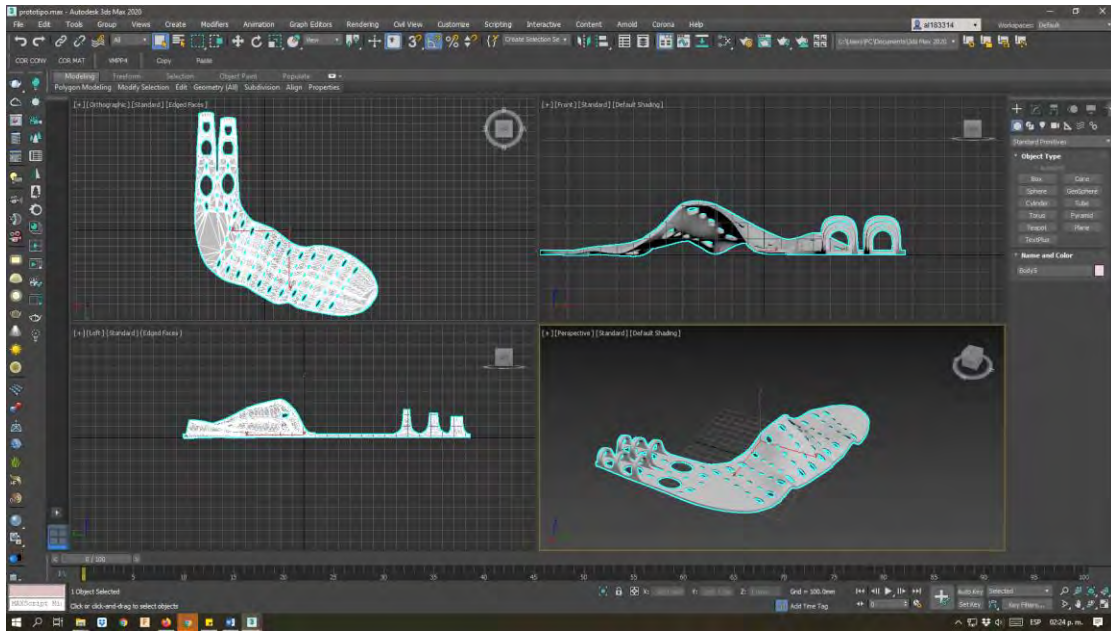


Figura 5.52. Vistas del prototipo modelado en 3D.

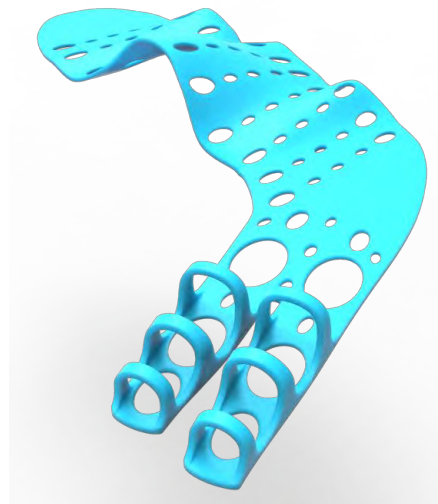
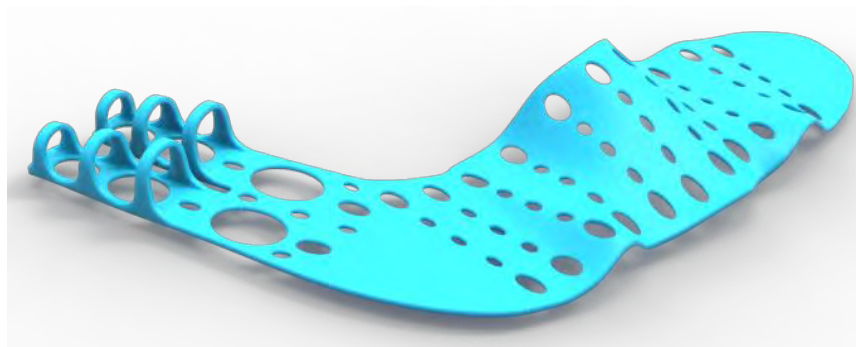


Figura 5.53. Vistas de renders del prototipo modelado en 3D.

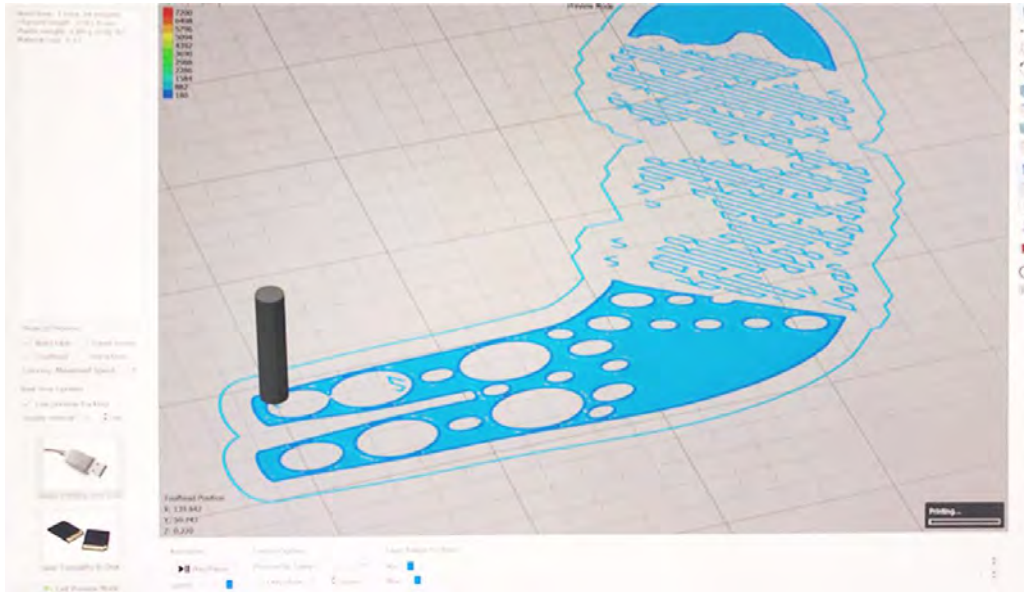


Figura 5.54. Programación de la impresión 3D en el software Ultimaker Cura

Se procede a la impresión del prototipo en la impresora Creality Ender 3, con filamento TPU (Figura 5.55).

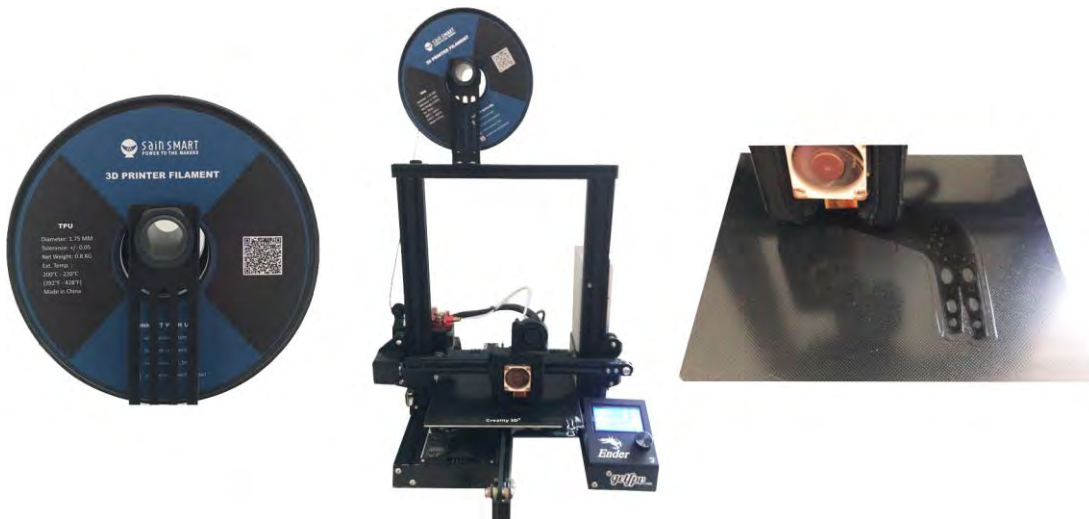


Figura 5.55. Impresión del prototipo en filamento TPU, impresora Creality Ender 3

Concluida la impresión del prototipo, se desmolda la pieza de la plataforma de la impresora, se extraen los soportes de sujeción adicionales y se limpia la pieza, como se muestra en las Figuras 5.56 y 5.57.



Figura 5.56. Desmoldado de prototipo impreso en 3D



Figura 5.57. Prototipo impreso en 3D

Se obtiene así, el prototipo del dispositivo de rehabilitación a escala real (Figura 5.58).



Figura 5.58. Vistas del prototipo impreso en 3D

6 | VALIDACIÓN DE PRODUCTO

6.1 Evaluación

Una vez optimizados los detalles y planos técnicos para la producción del prototipo final se pasan a la etapa 6 de la metodología, Validación (Figura 6.1), donde se llevará a cabo la observación y revisión del cumplimiento de los requerimientos de diseño (expertos), pruebas piloto de usabilidad con el prototipo en muestra de pacientes con STC y retroalimentación, y la certificación del diseño del producto como patente.

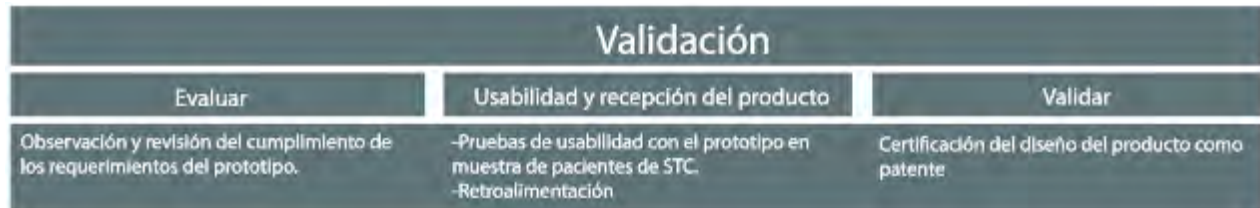


Figura 6.1. Etapa 6: Validación

La evaluación del dispositivo mediante la presentación ante expertos, entrevistándolos para ver si cumplen ciertos parámetros para determinar su efectividad (Tabla 6.1), para posteriormente realizar pruebas piloto de usabilidad con una muestra de pacientes y estimar la recepción del producto. Concluidas todas estas pruebas se determina si es válido el prototipo.

Tabla 6.1. Estructura de la validación por juicio de expertos

Objetivo de la validación	<ul style="list-style-type: none"> • Confirmar que el diseño del dispositivo es una solución de un producto de rehabilitación para lesiones de los nervios periféricos de la mano que ocurren en la muñeca como el Síndrome del Túnel Carpiano y el Síndrome del Canal de Guyón para mujeres que trabajan en oficinas. • Verificar que el dispositivo ayudaría a restituir las funciones orgánicas disminuidas de los nervios periféricos de la mano. • Valorar que el dispositivo permite el movimiento de la mano sin comprimir el nervio mediano o el nervio cubital al usar el mouse o el teclado.
Expertos	<ul style="list-style-type: none"> • 2 fisioterapeutas, • 3 médicos generales • 2 diseñadores industriales
Modo de validación	<ul style="list-style-type: none"> • Juicio de experto como cuestionario de validación. • Método individual: el experto responde las preguntas del cuestionario y expresa sus valoraciones y recomendaciones individualmente.

Durante la observación y revisión del cumplimiento de los requerimientos de diseño por los expertos, se les realizaron una serie de preguntas para verificar si cumplen ciertos parámetros y determinar la efectividad y correcto funcionamiento del producto diseñado.

Para cada encuesta, se colocaron instrucciones sobre las preguntas a responder de la encuesta, donde debía evaluar en una escala del 1-5 (1 muy mala- 5 muy buena) el dispositivo, teniendo en cuenta en cada especialidad de los expertos, los temas específicos a responder. Al concluir se les solicitaba agregar algunas recomendaciones con respecto a las preguntas antes contestadas en base a su experiencia profesional y opinión personal relacionadas con las temáticas de las preguntas de la encuesta.

6.1.1 Encuesta a expertos Fisioterapia y Medicina General. Ver Anexo 4

A continuación, se presentan las preguntas de la encuesta y una recopilación de información de las encuestas de los fisioterapeutas y médicos generales, que incluye los puntajes de las preguntas y las recomendaciones agregadas por cada experto.

Preguntas de la encuesta

1. ¿El dispositivo funcionaría como rehabilitador del STC?
2. ¿El dispositivo ayudaría a restituir las funciones orgánicas disminuidas de los nervios periféricos de la mano?
3. ¿El dispositivo limita los ángulos de movimientos de la muñeca de flexión y extensión, y de desviación ulnar y radial?
4. ¿El dispositivo permite la inmovilización de la muñeca?
5. ¿El ángulo de movimiento que limita el dispositivo es suficiente como para que no afecte o comprima los nervios periféricos de la mano?
6. ¿El dispositivo permite los movimientos de flexión de los dedos índice y medio para fortalecer los músculos y tendones de la mano?
7. ¿Se pueden realizar actividades repetitivas, como dar clic con el mouse o teclear, mientras se emplea el dispositivo durante la etapa de terapia ocupacional de la rehabilitación del STC?
8. ¿El diseño del dispositivo se adapta mejor a las características de los usuarios?
9. ¿El dispositivo permite la posición de reposo de la mano?
10. ¿Los materiales del dispositivo son los más adecuados para la fabricación de dicho producto?

11. ¿Los materiales del dispositivo son de fácil higienización?
12. ¿Mientras se usa el dispositivo se recibe educación postural de la muñeca al emplear el mouse y el teclado?
13. ¿La comercialización y venta del dispositivo se puede realizar en clínicas privadas, hospitales públicos o farmacias?
14. ¿La comercialización y venta del dispositivo se puede realizar por Internet?
15. ¿La adquisición del dispositivo se puede hacer en los mismos centros de salud a partir de la impresión 3D?
16. ¿El dispositivo cumple con las necesidades de rehabilitación de las mujeres con el Síndrome del Túnel Carpiano?
17. ¿El diseño del dispositivo es una solución de un producto de rehabilitación para lesiones de los nervios periféricos de la mano que ocurren en la muñeca como el Síndrome del Túnel Carpiano y el Síndrome del Canal de Guyón para mujeres que trabajan en oficinas?
18. ¿Qué cambiaría (eliminaría/agregaría) para mejorar la función del dispositivo de limitar el ángulo de movimiento de la muñeca?
19. ¿Qué cambiaría (eliminaría/agregaría) para mejorar la función del dispositivo de permitir los movimientos de flexión de los dedos índice y medio?
20. ¿En qué etapa de la rehabilitación recomienda que se use el dispositivo?

Resultados de las encuestas de los fisioterapeutas y médicos generales:

Los puntajes de las preguntas de las encuestas de los fisioterapeutas y médicos generales se muestran en la Tabla 6.2.

Tabla 6.2. Puntuación de las preguntas de encuestas a fisioterapeutas y médicos generales.

Preguntas Encuestas	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17
	Fisioterapeuta 1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Fisioterapeuta 2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Médico general 1	3	4	5	5	5	3	5	5	5	5	5	1	5	1	5	5	5
Médico general 2	4	4	5	5	5	4	5	5	5	5	5	2	5	3	5	5	5
Médico general 3	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Recomendaciones individuales de cada experto:

Fisioterapeuta 1: Lic. Terapia Física y Rehabilitación, Paulina Itzel Magallanes de los Ríos

Pregunta 18. La función del dispositivo de limitar el ángulo de movimiento de la muñeca está bien así, solo agregaría que el dispositivo permita un poco la flexión de la muñeca.

Pregunta 19. Para mejorar la función del dispositivo de permitir los movimientos de flexión de los dedos índice y medio, disminuir el grosor del área de apoyo de la yema de los dedos en el agarre de las falanges distales, en caso de que el usuario usara el dispositivo todo el día, para facilitar el agarre de objetos pequeños con pinza fina.

Pregunta 20. Recomiendo que se use el dispositivo en casi cualquier etapa de la rehabilitación, dependiendo del paciente y si es un caso crónico o post quirúrgico.

Recomendación adicional: Vender a empresas, para educación postural, como parte de los medios de protección del área de seguridad y salud en el trabajo.

Fisioterapeuta 2: Lic. Terapia Física y Rehabilitación, Michelle Itzel Magallanes de los Ríos

Pregunta 18. Para mejorar la función del dispositivo de limitar el ángulo de movimiento de la muñeca variaría la posición de reposo de la mano, para que no siempre esté en la posición neutra, y permita una flexión de hasta 35 grados.

Pregunta 19. Para mejorar la función del dispositivo de permitir los movimientos de flexión de los dedos índice y medio cambiaría el grosor del agarre en el área de la falange distal, específicamente en la de la yema del dedo, para que sea menos gruesa, y facilite la realización de distintas actividades.

Pregunta 20. Recomiendo que se use el dispositivo en las etapas de rehabilitación 2, 3 y 4, a partir de la etapa de movilización.

Recomendación adicional: Tener asesoramiento médico para uso el uso del dispositivo como medida de prevención de la afectación.

Médico general 1: Dra. Eillen Castiñeira Suarez

Pregunta 18. Para mejorar la función del dispositivo de limitar el ángulo de movimiento de la muñeca colocaría un cierre regulable, para conseguir mayor apriete o liberación del área de la muñeca, limitando o aumentando el movimiento articulario.

Pregunta 19. Para mejorar la función del dispositivo de permitir los movimientos de flexión de los dedos índice y medio permitiera ajustar el grado de movilización de los dedos para adaptarlo a las diferentes etapas de rehabilitación

Pregunta 20. Recomiendo que se use el dispositivo en las etapas de rehabilitación intermedia, durante la recuperación de los movimientos de la mano del paciente.

Médico general 2: Dr. Ariel Mesa Sarmiento

Pregunta 18. Para mejorar la función del dispositivo de limitar el ángulo de movimiento de la muñeca regularía el largo del área de inmovilización de la muñeca y el coeficiente de elasticidad del material de la férula

Pregunta 19. Para mejorar la función del dispositivo de permitir los movimientos de flexión de los dedos índice y medio permitir aumentar o disminuir la presión que debe ejercer el paciente para flexionar los dedos, o cambio de la elasticidad del material para cambiar posición de la mano estirando o retractando el material.

Pregunta 20. Recomiendo que se use el dispositivo en la última etapa de rehabilitación, bajo prescripción médica.

Médico general 3: Dr. Alberto García Aguilera

Pregunta 18. Para mejorar la función del dispositivo de limitar el ángulo de movimiento de la muñeca alargaría el área de agarre de la muñeca, unos 4 cm más hasta el antebrazo, logrando una mejor inmovilización de la muñeca, y aumenta la movilidad articular de los dedos.

Pregunta 19. Para mejorar la función del dispositivo de permitir los movimientos de flexión de los dedos índice y medio no le realizaría ningún cambio, ya que la forma del dispositivo permite al pulgar libre movilidad.

Pregunta 20. Recomiendo que se use el dispositivo en las 3 etapas de rehabilitación:

1. aguda (enfermedad) ya que facilita la fase de inmovilización;
2. tratamiento (implementación de tratamientos) proceso de tratamiento médico
3. recuperación (posterior al tratamiento) el paciente se recupera

Recomendación adicional: Realizar exámenes clínicos pilotos en centros de rehabilitación, y aplicar encuestas al personal de ortopedia, para que monitoreen el uso del dispositivo durante todas las etapas de tratamiento médico en una muestra pequeña de pacientes reales, y observar evolución del producto y analizar los resultados obtenidos en un plazo de tiempo determinado.

6.1.2 Encuesta a expertos en Diseño Industrial. Ver Anexo 5

A continuación, se presentan las preguntas de la encuesta y una recopilación de información de las encuestas de los diseñadores industriales, que incluye los puntajes de las preguntas y las recomendaciones agregadas por cada experto.

Preguntas de la encuesta

1. ¿El diseño del dispositivo se percibe estético?
2. ¿El diseño del dispositivo posee una adecuada composición formal?
3. ¿El diseño del dispositivo se percibe higiénico?
4. ¿El diseño y proyección del dispositivo se puede realizar mediante los procesos tecnológicos de modelado CAD, escaneo de la mano e impresión 3D?
5. ¿Para el diseño y proyección del dispositivo se realizó el reajuste de dimensiones del producto a medidas antropométricas de la mano de cada usuario?
6. ¿El diseño del dispositivo se adapta mejor a las características de los usuarios?
7. ¿El diseño del dispositivo se adapta mejor al contexto laboral de los usuarios?
8. ¿El dispositivo puede estar destinado para un público meta de mujeres entre 25 y 50 años?
9. ¿El diseño del dispositivo permite una mejor interacción y compatibilidad de los usuarios con el mouse y teclado?
10. ¿El diseño del dispositivo está ausente de superficies o aristas cortantes?
11. ¿El dispositivo posee una morfología que permita la transición de los elementos móviles con los inmóviles?
12. ¿El dispositivo posee el material y morfología necesaria para variar la posición neutra de los dedos índice y medio?
13. ¿El dispositivo posee un mecanismo de cierre óptimo para la colocación en la mano?
14. ¿El material del dispositivo es un plástico elastómero flexible?
15. ¿El material del dispositivo es un plástico elastómero elástico?
16. ¿El material del dispositivo es el más adecuado para la fabricación de dicho producto?

Resultados de las encuestas de los diseñadores industriales:

Los puntajes de las preguntas de las encuestas de los diseñadores industriales se muestran en la Tabla 6.3.

Tabla 6.3. Puntuación de las preguntas de encuestas a diseñadores industriales

Preguntas Encuestas	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
Encuesta 1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	5	4
Encuesta 2	5	5	5	5	5	5	4	4	5	5	5	5	3	5	5	5
Encuesta 3	5	5	4	5	5	5	5	5	4	5	4	5	4	5	5	5

Recomendaciones individuales de cada experto:

Diseñador 1: L.D.I., Raúl Alejandro Ríos

Pregunta 2. Adecuada por los rasgos que desea resaltar.

Pregunta 13. Aunque la solución funciona de manera óptima, se puede realizar un estudio para generar otras posibles variantes de implementación, para que exista un abanico de soluciones más amplias y se adecua a distintas tipologías de usuarios.

Diseñador 2: M.Sc Gestión de Diseño, Prof. Auxiliar, Marlen Castellanos Uralde

Pregunta 7: En la medida que el producto encubra menos la mano, será más adaptable a diferentes contextos de trabajo.

Pregunta 8: El público de mujeres a partir de los 40-45 años, puede tardarse en entender cómo funciona el producto, pero eso resulta una característica del público en general.

Pregunta 13: Podría ser más eficiente el mecanismo, si saliera de la propia impresión del producto

Diseñador 3: L.D.I., Dir. Creativo, Sand Ching

Pregunta 3. Usar materiales más higiénicos y duraderos para futuras versiones. El TPU y los filamentos flexibles se degradan con el tiempo, ya que son materiales de prototipos. El silicio, por ejemplo, puede aumentar el costo, pero es más estético y agradable en cuanto a sensaciones.

Pregunta 13. La necesidad de un mecanismo de cierre puede afectar la durabilidad de la pieza a lo largo del tiempo. Dado que se utilizan materiales flexibles, una propuesta de diseño que puede usarse como guante puede reducir el estrés de la pieza.

6.2 Usabilidad y recepción del producto

La aplicación de los criterios de usabilidad se emplea durante la fase de validación de un prototipo para certificar que el producto es apropiado a las necesidades del usuario permitiendo la realización de las funciones y actividades para las cuales se diseñó el producto en sí, de modo eficiente, intuitivo, fácil y satisfactorio (Poveda, R.,2003), "cuando los productos son utilizados por personas con discapacidad, especialmente cuando se trata de las ayudas técnicas, (...) son imprescindibles para el desarrollo de las actividades de la vida diaria de estas personas".

Con el prototipo resultante de la quinta etapa, se realizaron las pruebas pilotos de usabilidad y recepción del producto en una muestra seleccionada de 3 pacientes afectados con STC. La estructura del protocolo de validación mediante pruebas de usabilidad y recepción del producto se muestra en la Tabla 6.4.

Tabla 6.4. Estructura de la validación por pruebas de usabilidad y recepción del producto.

Objetivo de la validación	<ul style="list-style-type: none">• Evaluar uso y manipulación del dispositivo de rehabilitación.• Valoración del dolor del paciente al usar el producto.• Comprobar usabilidad del dispositivo al usar el mouse y el teclado.• Verificar que el dispositivo puede ser empleado por mujeres que trabajan en oficinas.
Muestra de pacientes	<ul style="list-style-type: none">• De tipo a conveniencia• Mujeres de 49 años, 27 años y 32 años
Modo de validación	<ul style="list-style-type: none">• Prueba de usabilidad y manipulación del producto al usar el mouse y el teclado para actividades de edición de texto e imágenes.• Análisis comparativo de los movimientos de flexión, extensión y desviación ulnar y radial de la muñeca con y sin dispositivo.• Valoración del dolor.• Encuesta de evaluación del uso del dispositivo de rehabilitación del STC como cuestionario de validación.

Los factores elementales a analizar durante una medición de usabilidad son el usuario, las actividades que realiza el usuario con el producto y el entorno donde realiza la actividad (Poveda, R.,2003).

6.2.1 Evaluación del uso y recepción del dispositivo de rehabilitación del STC. Ver Anexo 6

En esta encuesta evaluaremos el uso de un nuevo dispositivo de rehabilitación del STC que se muestra en la Figura 6.2, a partir de la realización de actividades con el mouse.

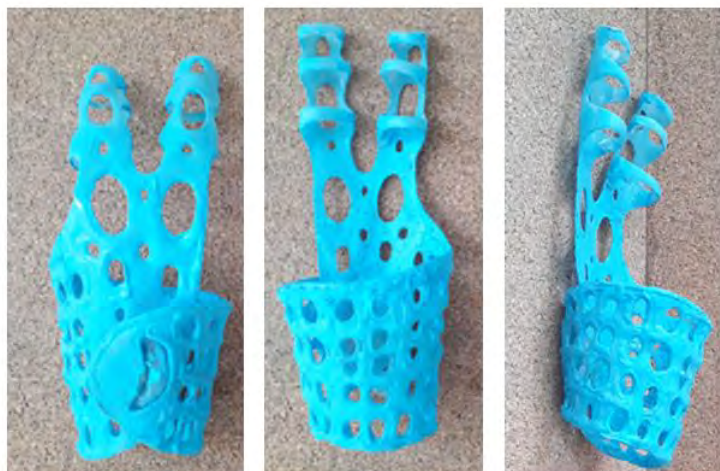


Figura 6.2. Dispositivo de rehabilitación del STC para evaluar en la encuesta.

Las actividades que se realizarán serán de edición de texto e imágenes para evaluar la interacción del dispositivo de rehabilitación con la mano al usar el mouse y el teclado. Al finalizar la secuencia de actividades contestará la encuesta relacionada con el uso del dispositivo mientras empleaba el mouse y el teclado para medir cómo se sintió durante el experimento.

La prueba piloto de usabilidad se estructuró en 3 etapas en dependencia de las actividades a realizar y las preguntas de la encuesta a responder al concluir las pruebas de uso, colocando instrucciones sobre las mismas al inicio de cada etapa.

En la primera etapa, sobre el uso y manipulación del dispositivo de rehabilitación, se evaluará la usabilidad del producto por los pacientes, evaluando la colocación, manipulación, movimientos de la mano, uso e interacción del dispositivo al usar el mouse y el teclado, a partir de la realización de actividades cotidianas de trabajo en oficinas. Se realizará un análisis comparativo de los movimientos de flexión, extensión y desviación ulnar y radial de la muñeca con y sin dispositivo.

En una segunda sobre la valoración del dolor que el paciente puede percibir al usar y manipular el dispositivo de rehabilitación, se enlistan un grupo de preguntas relacionadas con la percepción del dolor mientras realizaba las actividades de la 1ra etapa de la prueba de usabilidad.

Ya que la valoración del dolor es muy subjetiva, se establecieron preguntas generales según los procedimientos empleados en las clínicas de rehabilitación de los centros de salud de La Habana, Cuba. Para la evaluación del dolor en adultos se utiliza una escalera numérica de valoración verbal

de 0 a 10, donde 0 es ausencia de dolor y 10 dolor insoportable. Se empleó además la validación de la escala Boston en las preguntas 4, 5 y 6.

Una última etapa sobre la evaluación del uso del dispositivo de rehabilitación del STC, presenta un listado de preguntas que debe contestar el paciente relacionadas con el uso del dispositivo durante las actividades anteriores mientras utilizaba el mouse y el teclado, usando una escala del 1-5 (1 muy mala- 5 muy buena), con el objetivo de validar el diseño del producto.

A continuación, se presentan las indicaciones de las actividades que debían ejecutar las pacientes al usar el dispositivo y las preguntas de la encuesta que debían responder al concluir la realización de dichas actividades, en las 3 etapas del protocolo de la prueba piloto. Al finalizar cada etapa se agregó una recopilación de información de las encuestas de las pacientes, que incluye las imágenes de las pruebas de uso y manipulación, comparando el rango de movimiento de la mano del usuario sin dispositivo y con el dispositivo colocado, y los puntajes de las preguntas.

Puntualizar los datos de las pacientes, definidas como Paciente 1 - Mujer de 49 años, Paciente 2 - Mujer de 27 años y Paciente 3 - Mujer de 32 años.

Etapas 1: Uso y manipulación del dispositivo de rehabilitación

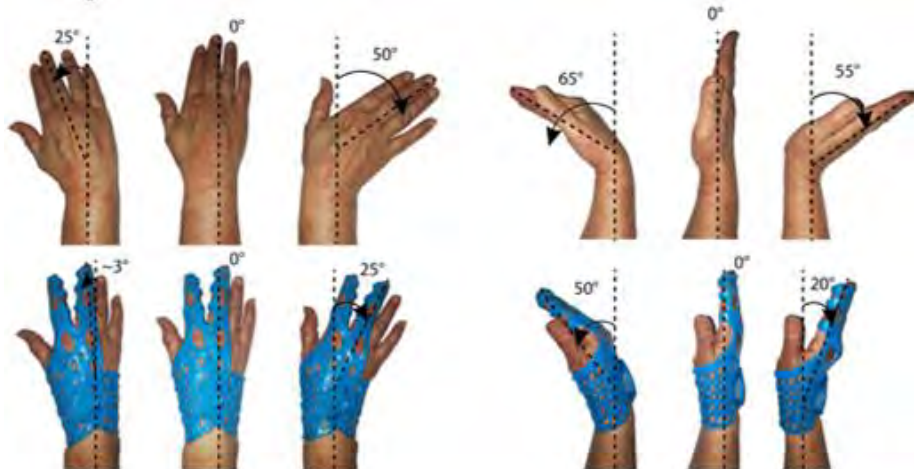
Instrucciones para las actividades de edición que va a realizar:

1. Crear un documento de PowerPoint
2. Seleccionar diseño de presentación en blanco
3. Escribir en la diapositiva de presentación el texto "**Uso del mouse**" en el cuadro de título
4. Seleccionar el texto "**Uso del mouse**" y cambiar el tipo de letra
5. Crear una figura geométrica
6. Aplicar color de relleno rojo
7. Aumentar el contorno de la forma hasta grosor de línea de 3pt
8. Copiar y pegar la figura editada
9. Alinear las figuras una junto a la otra
10. Copiar y pegar ambas figuras
11. Colocarlas debajo de las primeras 2 figuras creadas
12. Rotar las dos figuras de abajo hasta 45 grados
13. Cambiar a 3 colores distintos las 3 figuras clonadas

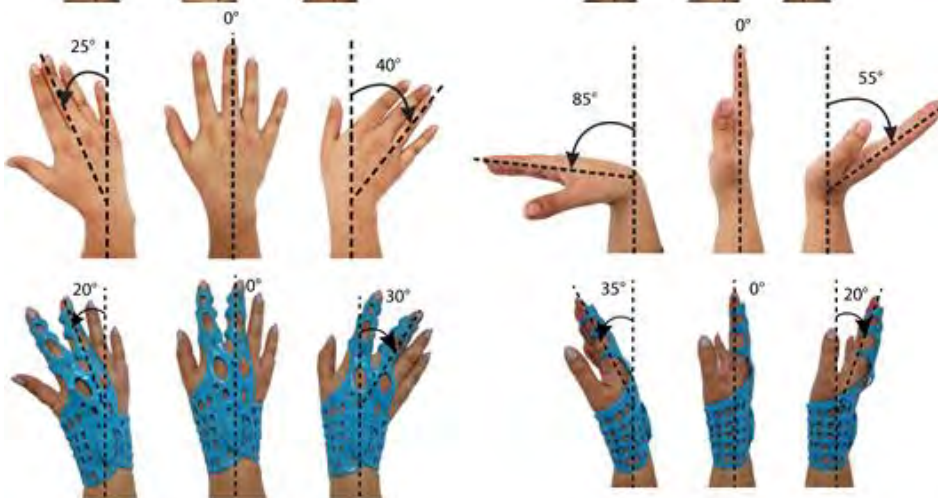
Resultados del uso y manipulación del dispositivo de rehabilitación:

Análisis comparativo de los movimientos de flexión, extensión y desviación ulnar y radial de la muñeca con y sin dispositivo

Paciente 1:



Paciente 2:



Paciente 3:

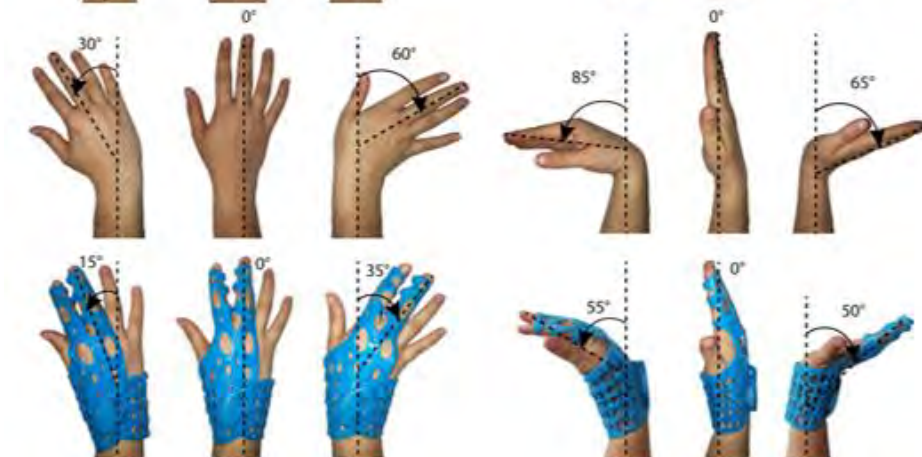
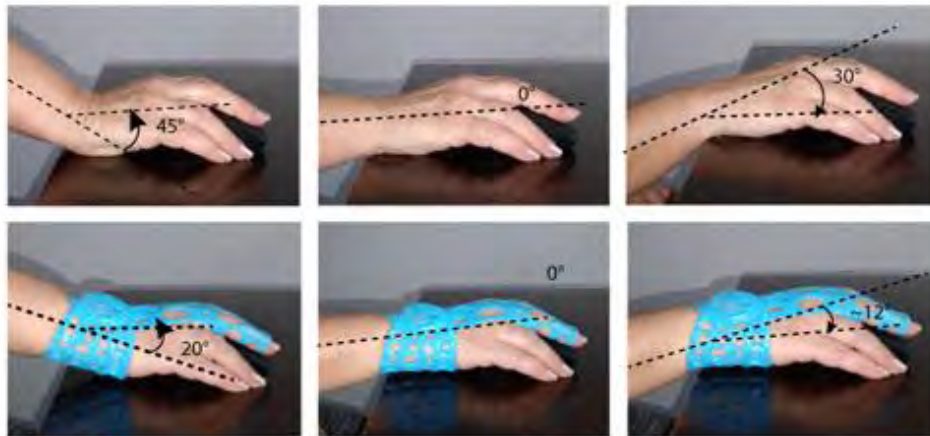


Figura 6.3. Análisis comparativo de los ángulos de movimiento de la muñeca

Análisis comparativo de los movimientos de la mano al usar el mouse

Paciente 1:



Paciente 2:



Paciente 3:

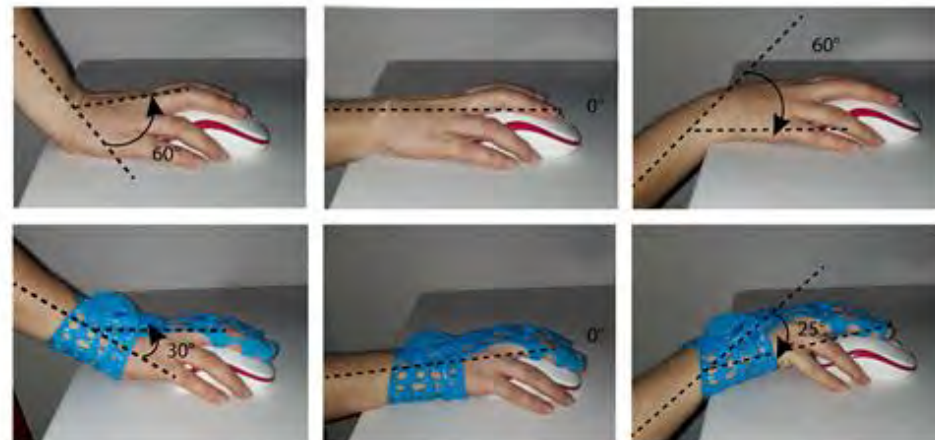


Figura 6.3. Análisis comparativo de los ángulos de movimiento de la muñeca al usar el mouse

Etapa 2: Valoración del dolor al usar el dispositivo

Preguntas de valoración del dolor mientras se usa el dispositivo de rehabilitación:

1. ¿Presenta dolores o molestias en la mano? Tenga en cuenta que 0 es ausencia de dolor y 10 dolor insoportable.
2. Indique dónde está el dolor y señale en qué parte de la mano.
3. Diga cómo es el dolor. Marque con una X junto al valor correspondiente. Tenga en cuenta que 0 es ausencia de dolor y 10 dolor insoportable.
4. ¿Tiene debilidad en la mano o en la muñeca? Marque con una X junto a la opción que considere.
5. ¿Tiene entumecimiento (pérdida de sensibilidad) en la mano? Marque con una X junto a la opción que considere.
6. ¿Tiene dificultad para la captación y uso de objetos pequeños? Marque con una X junto a la opción que considere.

Resultados de la valoración del dolor al usar el dispositivo:

Tabla 6.4. Puntuación de las preguntas sobre valoración del dolor al usar el producto.

Preguntas Encuestas	P1	P2	P3										P4	P5	P6
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
Encuesta 1	2	4	3	1	3	1	4	3	1	2	4	5	3	3	2
Encuesta 2	5	3	4	2	5	3	6	6	4	4	5	5	3	3	3
Encuesta 3	2	5	1	1	1	1	2	3	1	1	2	2	2	2	1



Figura 6.3. Zona de dolor de la mano

Etapa 3: Evaluación del uso del dispositivo de rehabilitación del STC:

Preguntas de evaluación del uso del dispositivo de rehabilitación:

1. ¿El dispositivo de rehabilitación permite usar el mouse y el teclado?
2. ¿El dispositivo de rehabilitación permite el movimiento de la mano sin dolor al usar el mouse o el teclado?
3. ¿El dispositivo de rehabilitación le ayuda a corregir la posición de la mano al usar el mouse y el teclado?
4. ¿Se pueden realizar actividades repetitivas, como dar clic con el mouse o teclear, mientras se emplea el dispositivo de rehabilitación?
5. ¿El dispositivo de rehabilitación facilita el trabajo con la computadora?
6. ¿El dispositivo de rehabilitación posee facilidad de uso en diferentes actividades?
7. ¿El diseño del dispositivo de rehabilitación se adapta mejor a su contexto laboral?
8. ¿El diseño del dispositivo de rehabilitación permite una mejor interacción y compatibilidad con el mouse y teclado?
9. ¿El dispositivo de rehabilitación inmoviliza la muñeca?
10. ¿El dispositivo de rehabilitación permite cierto grado de movimiento de los dedos, pulgar o muñeca?
11. ¿El dispositivo de rehabilitación es confortable?
12. ¿El dispositivo de rehabilitación es ligero?
13. ¿Los materiales del dispositivo de rehabilitación son suaves al tacto?
14. ¿El diseño del dispositivo de rehabilitación se adapta mejor a sus características como usuario?

Resultados de la evaluación del uso del dispositivo de rehabilitación del STC:

Tabla 6.5. Puntuación de las preguntas sobre usabilidad y recepción del producto.

Preguntas Encuestas	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14
Encuesta 1	5	4	4	5	5	5	4	5	5	4	4	4	5	3
Encuesta 2	5	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	2
Encuesta 3	3	5	3	5	5	5	2	3	5	4	3	2	4	1

6.3 Validación

Realizadas las actividades de validación, se analizaron los resultados obtenidos de las encuestas de juicio de expertos por especialidad y las pruebas pilotos de usabilidad y recepción del producto en las 3 pacientes.

De la recopilación de datos obtenidos del juicio de expertos por especialidad se concluyó que:

1. Fisioterapeuta:

Los parámetros a evaluar dentro de las preguntas del cuestionario obtuvieron el máximo de calificación, confirmando que el diseño del dispositivo es una solución de un producto de rehabilitación para lesiones de los nervios periféricos de la mano que ocurren en la muñeca como el Síndrome del Túnel Carpiano y el Síndrome del Canal de Guyón para mujeres que trabajan en oficinas y que cumplía eficientemente las funciones de rehabilitación.

Se realizaron algunas recomendaciones en cuanto a las funciones de rehabilitación de limitar el ángulo de movimiento de la muñeca y permitir los movimientos de flexión de los dedos índice y medio:

- Variar la posición de reposo de la mano, para que no siempre se encuentre en posición neutra, y permita una flexión de hasta 45 grados.
- Disminuir el grosor del área de apoyo de la yema de los dedos en el agarre de las falanges distales, en caso de que el usuario usara el dispositivo todo el día, para facilitar el agarre de objetos pequeños con pinza fina.
- Usar el dispositivo luego de la fase de inflamación, a partir de la etapa de movilización, utilizando la férula en combinación con ejercicios para mejorar la recuperación.

Otras recomendaciones generales en cuanto a la comercialización y disponibilidad del producto fueron:

- Vender a empresas, para educación postural, como parte de los medios de protección del área de seguridad y salud en el trabajo.
- Tener asesoramiento médico para uso del dispositivo como medida de prevención de la afectación.

2. Médico general:

En el caso de estos especialistas en medicina general, la calificación de los parámetros evaluados fue buena en su mayoría, exceptuando algunas cuestiones relacionadas con la restitución total de las funciones orgánicas disminuidas de los nervios periféricos de la mano y el uso del dispositivos en distintas etapas de rehabilitación, confirmando que el diseño del dispositivo es una solución de un producto de rehabilitación para mujeres que trabajan en oficinas que padecen estas neuropatías que debe ser evaluada en un número mayor de pacientes con seguimiento médico de varias semanas para verificar la evolución del caso, siempre dependiendo del tipo de paciente y su sintomatología.

Dentro de las recomendaciones en cuanto a las funciones de rehabilitación de limitar el ángulo de movimiento de la muñeca y permitir los movimientos de flexión de los dedos índice y medio se encuentran:

- Cierre regulable variando el área de sujeción de la muñeca para limitar o liberar el movimiento articular.
- Ajustar el grado de movilización de los dedos para adaptarlo a las diferentes etapas de rehabilitación
- Regular la longitud del área de inmovilización de la muñeca y el coeficiente de elasticidad del material de la férula
- Variar la presión que debe ejercer el paciente para flexionar los dedos, o cambio de la elasticidad del material para cambiar posición de la mano estirando o retractando el material.
- Extender el área de agarre de la muñeca, unos 4 cm más hasta el antebrazo, logrando una mejor inmovilización de la muñeca y aumentar así la movilidad articular de los dedos.
- Usar el dispositivo en las 3 etapas de rehabilitación: aguda (enfermedad) ya que facilita la fase de inmovilización; tratamiento (implementación de tratamientos) proceso de tratamiento médico; y recuperación (posterior al tratamiento) el paciente se recupera

Una recomendación general común fue:

- Realizar exámenes clínicos pilotos en centros de rehabilitación, y aplicar encuestas al personal de ortopedia, para que monitoreen el uso del dispositivo durante todas las etapas

de tratamiento médico en una muestra pequeña de pacientes reales, y observar evolución del producto y analizar los resultados obtenidos en un plazo de tiempo determinado.

3. Diseñador industrial:

En el caso de estos expertos en diseño de productos, los parámetros fueron evaluados con una buena calificación, con excepción de la cuestión relacionada con el mecanismo de cierre del dispositivo, alegando en su mayoría que el dicho mecanismo podía partir de la propia morfología del dispositivo, y no necesariamente se debía solucionar con unión por velcro. Consideran que el diseño del dispositivo es una solución de un producto de rehabilitación del STC para mujeres que trabajan en oficinas.

Dentro de las recomendaciones realizadas con respecto a las cuestiones evaluadas agregaron:

- Realizar un estudio para generar otras posibles variantes de implementación, aumentando el abanico de soluciones de diseño y su adecuación a distintas tipologías de usuarios
- Mayor eficiencia del mecanismo si partiera de la propia impresión del producto. Aunque la necesidad de un mecanismo de cierre puede afectar la durabilidad del producto en largos períodos de tiempo.
- Una propuesta de diseño que puede usarse como guante puede reducir el estrés de la pieza al estar fabricado con materiales flexibles.
- El público de mujeres a partir de los 40-45 años, puede tardarse en entender cómo funciona el producto
- Usar materiales más higiénicos y duraderos para futuras versiones, ya que el TPU y los filamentos flexibles se degradan con el tiempo, pues están destinados en para producción de prototipos. El silicio, por ejemplo, puede aumentar el costo, pero es más estético y agradable en cuanto a sensaciones.

La apreciación del dispositivo durante la presentación ante expertos y su evaluación por medio del cuestionario y entrevistas, confirmó la valoración positiva del producto con respecto al cumplimiento de parámetros tasados, determinando su efectividad.

De la recopilación de datos obtenidos de las pruebas pilotos de usabilidad y recepción del producto en las 3 pacientes se concluyó que:

1. Uso y manipulación del dispositivo de rehabilitación

Durante las pruebas de usabilidad y manipulación del producto se evaluó la colocación, manipulación, movimientos de la mano, uso e interacción del dispositivo al usar el mouse y el teclado para realizar actividades de edición de texto e imágenes en la computadora, comprobándose la ejecución de las acciones de dar clic, teclear, mover el mouse para desplazar el cursor en el escritorio de la computadora, incluso accionar el scroll del mouse, ratificando la interacción del dispositivo con los elementos del entorno laboral de una oficina simulada para las pruebas pilotos.

Se realizó un análisis comparativo de los movimientos de flexión, extensión y desviación ulnar y radial de la muñeca antes de usar el dispositivo y luego mientras lo usaba, para calcular el valor del ángulo de movimiento articular de la muñeca al realizar dichos movimientos antes y después del uso del producto, y comprobar si la variación de ese rango de movimiento era significativa o despreciable.

En el caso de los movimientos de desviación ulnar y radial de la muñeca con y sin dispositivo:

- Paciente 1: Reducción de un 50 % del rango de movimiento de desviación ulnar y una disminución casi total del rango de movimiento para la desviación radial.
- Paciente 2: Reducción de 10 grados del ángulo de movimiento de desviación ulnar y una disminución de 5 grados del ángulo de movimiento para la desviación radial.
- Paciente 3: Reducción de 25 grados del ángulo de movimiento de desviación ulnar y una disminución del 50 % del rango de movimiento para la desviación radial.

En el caso de los movimientos de flexión y extensión de la muñeca con y sin dispositivo:

- Paciente 1: Reducción de más de la mitad del rango de movimiento de extensión y una disminución de solo de 15 grados del ángulo del rango de movimiento para la flexión.
- Paciente 2: Reducción de más de la mitad del rango de movimiento de extensión y una disminución de hasta 2/3 del rango de movimiento para la flexión.
- Paciente 3: Reducción de 15 grados del ángulo de movimiento de extensión y una disminución de hasta 1/3 del rango de movimiento para la flexión.

En el caso de los movimientos de flexión y extensión de la muñeca con y sin dispositivo al usar el mouse:

- Paciente 1: Reducción de más de la mitad del rango de movimiento en la extensión y la flexión.
- Paciente 2: Reducción de 15 grados del ángulo de movimiento en la extensión y la flexión.
- Paciente 3: Reducción de un 50 % del rango de movimiento de extensión y una disminución de más de la mitad del rango de movimiento para la flexión.

Se comprobó por medio del análisis comparativo que el rango de los movimientos de flexión, extensión y desviación ulnar y radial de la muñeca al usar el dispositivo reducía en la mayoría de los casos más de 1/3 del ángulo de los movimientos, llegando incluso a al 50% de reducción y más. Lo que ratificó la eficacia del dispositivo de limitar los movimientos articulatorios de la muñeca.

2. Valoración del dolor al usar el dispositivo:

En los casos de estimación de las sensaciones y percepciones de dolor de las pacientes al usar el dispositivo se visualizó en la recolección de datos de las encuestas que ninguna de las pacientes presentó molestias o dolor por encima de la media soportable de dolor, todos los valores señalados en sus cuestionarios oscilaban entre ausencia de dolor y dolores medianamente insoportables.

3. Evaluación del uso del dispositivo de rehabilitación del STC:

Durante la evolución del dispositivo cabe señalar que el prototipo del dispositivo que empleó la paciente 3 para realizar las pruebas pilotos, no se ajustaba a la antropometría de su mano, ya que las medidas antropométricas de este usuario eran menores a las del tras 2 pacientes, por lo que sus respuestas al cuestionario estuvieron respaldadas por su percepción de un producto que no se ajustaba del todo a ella.

En su mayoría las calificaciones otorgadas por las pacientes para evaluar el dispositivo fueron altas, aunque en algunas cuestiones se concluyó que el dispositivo era medianamente suave al tacto, bastante ligero, y que corregía a medias la posición de la mano al usar el mouse y el teclado.

Una vez realizadas las pruebas pilotos de usabilidad con la muestra de pacientes y comprobar la recepción del producto por las usuarias, quedó establecida la validación del prototipo como dispositivo de rehabilitación de mujeres con STC que trabajan en oficinas.

Siendo así, se certificó mediante el protocolo de validación de la investigación, que el producto es adecuado para resolver las necesidades de las pacientes de manera fácil y satisfactoria, posibilitando la ejecución de las funciones de rehabilitación y la interacción correcta del dispositivo con actividades laborales de las usuarias.

7 | PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

7.1 Capítulo de libro

El capítulo del libro "Estudio comparativo de patentes de dispositivos de rehabilitación del Síndrome del Túnel Carpiano fabricados tradicionalmente o por impresión 3D" se encuentra en proceso de envío a los libros "Tendencias en aplicaciones de ingeniería industrial para procesos de fabricación" o "Nuevas perspectivas sobre la ergonomía industrial aplicada", ambos publicados por Springer Verlag. Se realizó con los coautores Dr. Juan Luis Hernández Arellano y Dr. David Cortés Sáez de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, y el Dr. Pablo López Calle de la Universidad Complutense de Madrid. En el ANEXO 4 se adjunta el capítulo completo.

7.2 Propuestas para registro de Propiedad

Actualmente se encuentra en proceso de llenado del formato de Declaración Formal de Invención, vínculo entre el área de investigación en la que se encuentra el proyecto de tesis y la oficina de Transferencia de Tecnología y Propiedad Intelectual (OTT.PI), la solicitud del modelo de utilidad para medidor de fuerza de pinzamiento a diferentes niveles con sensor digital conectado a computadora, en colaboración con el Laboratorio de Diseño Ergonómico de Producto de la UACJ y la empresa ErgoTechMx, dado a que se debe a una posible invención de modelo de utilidad y posee potencial de registro como propiedad industrial para su explotación comercial. La invención recibe financiamiento interno y externo gracias a la colaboración con el Laboratorio de Diseño Ergonómico de Producto de la UACJ y la empresa ErgoTechMx. Dentro de los inventores que están contribuyendo con el proyecto se encuentra el Dr. Juan Luis Hernández Arellano. En el ANEXO 5 se adjunta dicha solicitud de registro de modelo de utilidad.

7.3 Estancia de movilidad

La estancia de movilidad en Madrid se efectuó durante el periodo de 30/septiembre/2019 al 19/diciembre/2019, en el Grupo de Investigación Charles Babbage de Ciencias Sociales del Trabajo de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales de la Universidad Complutense de Madrid, bajo la tutoría del Dr. Pablo López Calle, director del Departamento de Sociología Aplicada. Los objetivos propuestos para la estancia se cumplieron: recopilar información relacionada con la prevención de enfermedades profesionales relacionadas al uso del mouse y el teclado: aplicar encuesta y pruebas pilotos de uso del dispositivo de rehabilitación de lesiones de los nervios periféricos de la mano a una muestra de pacientes con Síndrome del Túnel Carpiano: recopilar y analizar la información

resultante de las encuestas y pruebas pilotos del prototipo funcional para definir los movimientos biomecánicos de la mano que rehabilitan el STC durante el uso del mouse y el teclado en los puestos de trabajo. Se realizaron una serie de actividades relacionadas al despacho del Grupo de Investigación, como la asistencia y participación en las tareas docentes de la materia Ergonomía del Máster de Prevención de Riesgos Laborales, como clases, proyectos en grupo, visita al Instituto de Biomecánica de Valencia para debatir sobre los productos de innovación para prevenir riesgos, dispositivos de rehabilitación personal, valoración biomédica y promoción de la salud. Como resultados de la estancia se generó el capítulo 3 de la tesis: análisis del movimiento de la mano durante el uso del dispositivo de rehabilitación en puestos de trabajo; y se redactó un capítulo para una revista científica.

7.4 Ponencia

Durante la estancia de movilidad en la Universidad Complutense de Madrid, se formalizó una ponencia a modo de exposición oral y actividad interactiva con los alumnos del Máster de Prevención de Riesgos Laborales y demás profesores invitados, coordinado por el Dr. Pablo López Calle, director del Departamento de Sociología Aplicada, donde se expusieron los avances del proyecto de investigación sobre el desarrollo del dispositivo de rehabilitación y su relación con las actividades laborales, y su vínculo con la prevención de las enfermedades profesionales relacionadas al trabajo en oficinas con computadoras.

8

CONCLUSIONES

Para el presente proyecto de investigación se concluyó con un prototipo funcional impreso en 3D en filamento TPU con el cual se realizaron pruebas piloto de usabilidad en pacientes con STC, validando a una menor escala el dispositivo para su posterior comercialización y distribución.

Se unificaron distintas áreas de investigación relacionadas con la rehabilitación, ergonomía, biomecánica, análisis del movimiento, fisioterapia, y salud ocupacional, para conceptualizar y mejorar el producto.

Durante la investigación se realizó una búsqueda de dispositivos patentados similares para la prevención y rehabilitación de enfermedades ocupacionales de la extremidad superior, como el Síndrome del Túnel Carpiano, contribuyendo a la evaluación y comparación de las patentes registradas y resultando en un capítulo de libro para la revista Springer.

Debido a la situación actual de contingencia por la pandemia del virus Covid-19, un grupo de actividades quedaron pendientes durante la última etapa de la investigación, como son la aprobación C.I. Bioética para realización de pruebas de usabilidad y encuestas de la validación con prototipo impreso en 3D en muestras de pacientes mayores, contribuyendo a una validación más verídica, el registro de patente del proyecto de tesis, y la validación de la función de fortalecer los músculos de la mano y antebrazo mediante la medición de fuerza.

Estas actividades se llevarán a cabo luego de concluir el examen de grado dado que esta investigación se va a retomar para un proyecto de Doctorado en Diseño, por sus altas prestaciones y la posibilidad de uso del producto para la prevención del riesgo antes de la neuropatía y posibles mejoras tecnológicas asociadas a app móvil mediante el internet de las cosas y sensores de movimiento incorporados, así como la inclusión de un mayor rango de edad de mujeres y de la población masculina. En general, debido al proceso de producción del dispositivo mediante escaneo personalizado e impresión 3D

9

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar-Duque, J. I., Amaya-Parra, G., Juarez-Luna, V. M., Tlapa, D., Tamayo, U. J., & Tovar-Hernández, A. Y. (2018). Anthropometry Devices: A Comparative Study. In *Handbook of Research on Ergonomics and Product Design* (pp. 153-171). IGI Global.
- Alexander, R., Bennett, M. B., & Ker, R. F. (1986). Mechanical properties and function of the paw pads of some mammals. *Journal of Zoology*, 209(3), 405-419.
- Armenteros Pedrero, J., Justo García, G., Rey Pita, M. L., Gallego González, S., Buján de Gonzalo, A., & Tobío Iglesias, A. (2000). Tratamiento conservador del síndrome del túnel carpiano mediante inmovilización con férulas. *Rehabilitación (Madr., Ed. impr.)*, 34(4), 313-319.
- Atroshi, I., Gummesson, C., Johnsson, R., Ornstein, E., Ranstam, J., & Rosen, I. (1999). Prevalence of carpal tunnel syndrome in a general population. *Jama*, 282(2), 153-158.
- Aziz, F. (1989). *Remedial device for treatment of carpal tunnel syndrome*. No. US4883073. Ohio: United States Patent.
- Bahou, Y. G. (2002). Carpal tunnel syndrome: a series observed at Jordan University Hospital
- Barmakian, J. T. (1992). Anatomy of the joints of the thumb. *Hand clinics*, 8(4), 683-691.
- (JUH), June 1999–December 2000. *Clinical neurology and neurosurgery*, 104(1), 49-53.
- Bekkelund, S. I., Pierre-Jerome, C., Torbergsen, T., & Ingebrigtsen, T. (2001). Impact of occupational variables in carpal tunnel syndrome. *Acta neurologica scandinavica*, 103(3), 193-197.
- Blair, W. F. (1996). Work Related Musculoskeletal Disorder (WMSDs): A reference book for prevention: M. Hagberg et al., Taylor and Francis, Inc., 1900 Frost Road, Suite 101, Bristol, PA 19007, 421 pp. *Journal of Biomechanics*, 29(6), 837-838.
- Burke, D. T., Burke, M. M., Stewart, G. W., & Cambré, A. (1994). Splinting for carpal tunnel syndrome: in search of the optimal angle. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 75(11), 1241-1244.
- Cabrera Bustamante Armando. (2011). Estructuras y procesos que caracterizan al diseño industrial- y articulen con el inicio de proyectos. *Tesis Doctoral*. Isdi.
- Carrera (2017). La demanda de 'freelancers' incrementa 33% en México. 19 de abril de 2019. Disponible en: <https://expansion.mx/carrera/2017/07/28/la-demanda-de-freelancers-incrementa-33-en-mexico>
- Chaffin, D. B., Andersson, G., & Martin, B. J. (1999). *Occupational biomechanics* (pp. 91-130). New York: Wiley.

- Charlton, W. H. (1992). *Exercise glove incorporating rods which offer resistance to movement of fingers, hands, or wrists*. No. US5453064. Ohio: United States Patent.
- Conesa, A. G., & Gisbert, M. S. (2004). Síndrome del túnel del carpo. *Fisioterapia*, 26(3), 170-185.
- Davis, P. T., Hulbert, J. R., Kassak, K. M., & Meyer, J. J. (1998). Comparative efficacy of conservative medical and chiropractic treatments for carpal tunnel syndrome: a randomized clinical trial. *Journal of manipulative and physiological therapeutics*, 21(5), 317-326.
- Davis, P. T., & Hulbert, J. R. (1998). Carpal tunnel syndrome: conservative and nonconservative treatment. A chiropractic physician's perspective. *Journal of manipulative and physiological therapeutics*, 21(5), 356-362.
- Dawson, D. M. (1993). Entrapment neuropathies of the upper extremities. *New England Journal of Medicine*, 329(27), 2013-2018.
- Dempsey, P. G. (1998). A critical review of biomechanical, epidemiological, physiological and psychophysical criteria for designing manual materials handling tasks. *Ergonomics*, 41(1), 73-88.
- Díaz, E. C., Mariángel, N. C., Silva, Ó. M., & Herrera, C. R. (2011). Estudio piloto de medidas antropométricas de la mano y fuerzas de presión, aplicables al diseño de herramientas manuales. *Ciencia & Trabajo*, (39), 1-5.
- Díaz, G., & del Carmen, H. (2008). *Situación actual del síndrome del túnel del carpo en la población asegurada adscrita al Instituto de Seguridad Social en el departamento de Managua. Período Enero-Diciembre 2007* (Doctoral dissertation, CIES UNAN-Managua).
- El Radar (2019). Xkelet Easy Life, primera start-up española identificada como empresa relevante por su tecnología en EEUU. 25 septiembre, 2019. El Radar de la georealidad. Disponible en: <https://www.elradar.es/xkelet-easy-life-primera-start-up-espanola-identificada-como-empresa-relevante-por-su-tecnologia-en-eeuu/>
- Else, D. M. (1988). *Flexible wrist splint*. No. US4854309. Ohio: United States Patent.
- Específica, P. D. V. S. (2000). Neuropatías por Presión. *Comisión de Salud Pública. Consejo Interterritorial del Sistema Nacional de Salud*.
- FayerWayer (2012). INEGI: Hay 42 millones de personas con una PC y 37 millones con internet en México. 15 de abril de 2019. Disponible en: <https://www.fayerwayer.com/2012/08/inegi-hay-42-millones-de-personas-con-una-pc-y-37-millones-con-internet/>

- Fresno, A. (2019). Una start-up española distribuirá férulas impresas en 3D al Ejército de EEUU. 22 septiembre, 2019. Vozpópuli. Disponible en: https://www.vozpopuli.com/economia-y-finanzas/Xkelet-espanola-impresas-Ejercito-EEUU_0_1272173575.html
- Gestal Otero, J. J., & Romani Lestón, M. (1990). ¿Qué es la medicina preventiva y salud pública?.
- Grajales, T. (2000). Tipos de investigación. *On line*(27/03/2.000). Revisado el, 14.
- Hall, D. (2015). *Customizable fitted apparatus*. No. US2016074203A. Colorado: United States Patent.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2006). *Metodología de la investigación* (Vol. 3). México: McGraw-Hill.
- Hodelín, Y. H., de los Reyes García, Z. L., Cumba, G. H., & Salmon, M. B. (2016). Riesgos sobre tiempo prolongado frente a un ordenador. *Revista de Información Científica*, 95(1), 175-190
- Hoyos, D. H. (2010). Rehabilitación en lesiones de nervios perifericos de antebrazo y manos. *Rehabilitación*.
- ICEX (2019). Xkelet, reconocida en los premios Techconnect de Defensa de Estados Unidos. septiembre, 2019. ICEX España Exportación e inversiones. Disponible en: <https://www.icex.es/icex/es/navegacion-principal/todos-nuestros-servicios/informacion-de-mercados/paises/navegacion-principal/noticias/NEW2019831415.html?idPais=ES>
- IEA (2006). Approved definitions by International Council. 20 de octubre de 2018. Disponible en: http://www.iea.cc/browse.php?contID=what_is_ergonomics. Consultado en Junio y Julio del 2010.
- James C. Gray Brown (1995). *Flexible wrist splint*. No. US5921945. Florida: United States Patent.
- Jeng, O. J., Radwin, R. G., & Rodriquez, A. A. (1994). Functional psychomotor deficits associated with carpal tunnel syndrome. *Ergonomics*, 37(6), 1055-1069.
- José Segnini, Mary Vergara, S. P. (2017). 7 prospectiva para el diseño y fabricación de una órtesis impresa en 3d. In C. de P. U. de L. Andes (Ed.), *Diseño de dispositivos para rehabilitación y órtesis* (pp. 153–170). researchgate. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/323994853_PROSPECTIVA_PARA_EL_DISENO_Y_FABRICACION_DE_UNA_ORTESIS_IMPRESA_EN_3D
- Karasahin, D. (2017). *Methods for integrating sensors and effectors in custom three-dimensional orthosis*. No. US2017224520A. Turkey: United States Patent.
- Kasdan, M. L., & Lewis, K. (2002). Management of carpal tunnel syndrome in the working population. *Hand clinics*, 18(2), 325-330.

- Kumar, S. (1999). *Biomechanics in ergonomics*. CRC Press.
- Kutluhan, S., Akhan, G., Demirci, S., Duru, S., Koyuncuoglu, H. R., Ozturk, M., & Cirak, B. (2001). Carpal tunnel syndrome in carpet workers. *International archives of occupational and environmental health*, 74(6), 454-457.
- Lagerström, M., Wenemark, M., Hagberg, M., Hjelm, E. W., & Moses Study Group. (1996). Occupational and individual factors related to musculoskeletal symptoms in five body regions among Swedish nursing personnel. *International archives of occupational and environmental health*, 68(1), 27-35.
- Llaneza, F. J. (2007). Ergonomía y psicología aplicada: manual para la formación del especialista.
- Lowe, B. D. (1999). Effect of carpal tunnel syndrome on grip force coordination on hand tools. *Ergonomics*, 42(4), 550-564.
- Ly-Pen, D., & Andreu, J. L. (2005). Tratamiento del síndrome del túnel carpiano. *Medicina Clínica*, 125(15), 585-589.
- Matias, A. C., Salvendy, G., & Kuczek, T. (1998). Predictive models of carpal tunnel syndrome causation among VDT operators. *Ergonomics*, 41(2), 213-226.
- Meunchen, P.K., Durkin, E.T. (1990). *Hand brace*. No. US5014689A / Boston: United States Patent.
- Mills, J. A., Taylor, R. G., & Buschbacher, R. M. (2003). *U.S. Patent Application No. 29/155,048*.
- Mohammad, Y. A. (2005). Anthropometric characteristics of the hand based on laterality and sex among Jordanian. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35(8), 747-754.
- Mondelo, P. R., Bombardo, P. B., Busquets, J. B., & Torada, E. G. (2004). *Ergonomía 3: Diseño de puestos de trabajo* (Vol. 3). Universitat Politècnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politécnica.
- Mondelo, P. R., Torada, E. G., & Bombardo, P. B. (2010). *Ergonomia I. Fundamentos*. Univ. Politèc. de Catalunya.
- Morales, L. R. (2004). *Diseño: estrategia y táctica*. Siglo XXI.
- Munari, B., & Rodriguez, C. A. (1993). *¿Cómo nacen los objetos?*. Gustavo Gili.
- Munari, B. (2011). Metodología Proyectual. *Capturado de <https://es.scribd.com/doc/52011366/Metodologia-proyectual-Bruno-Munari>*.
- Nunes, I. L., & Bush, P. M. (2012). Work-related musculoskeletal disorders assessment and prevention. *Ergonomics-A Systems Approach*.

- Ocello, M., & Lovotti, V. (2020). Órtesis y prótesis.
- Oliver IV, M., Rickards, J., & Biden, E. (2000). Off-road machine controls: investigating the risk of carpal tunnel syndrome. *Ergonomics*, 43(11), 1887-1903.
- OMS. 2008. Sensibilizando sobre el stress laboral en los países en desarrollo 50. Disponible en: http://whqlibdoc.who.int/publications/2008/9789243591650_spa.pdf
- Panero, J., Zelnik, M., & Castán, S. (1983). *Las dimensiones humanas en los espacios interiores*. Gustavo Gili.
- Pardal-Fernández, J. M., Martín-Garrido, M. J., García-Reboiro, G., Godes-Medrano, B., Jerez-García, P., & Marco-Giner, J. (2004). Diagnóstico del síndrome del túnel carpiano. Evaluación clínica y neurofisiológica. *Rehabilitación*, 38(3), 137-147.
- Parra, G. C. G., Eslava, A. F. G., & Artunduaga, E. A. G. (2009). Síndrome del túnel del carpo. *Morfología*, 1(3).
- Peters, H. (1991). *Wrist support*. No. US5160314. Michigan: United States Patent.
- Pheasant, S. (2014). *Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics And The Design Of Work: Anthropometry, Ergonomics And The Design Of Work*. CRC Press.
- Poveda, R. (2003). Método para la selección de ayudas técnicas bajo criterios de usabilidad. *Instituto de Biomecánica de Valencia. Musa/IBV*.
- Ranney, D., Wells, R., & Moore, A. (1995). Upper limb musculoskeletal disorders in highly repetitive industries: precise anatomical physical findings. *Ergonomics*, 38(7), 1408-1423.
- Rivero, R.V., Ceide, J.T. (2017). *Post-traumatic immobilization device and production method thereof*. No. US2018357348A. Barcelona: United States Patent.
- Rivlin, M., Watkins, C., Vaccaro, A.R., Maggiano M.G., Beredjikian, P., Sileski, M.J. (2017). *3D printed splint and cast*. No. US20170216078A1. Philadelphia: United States Patent.
- Salinas, H. R. C. (2008). Implicaciones de las tecnologías de la información y la comunicación en las profesiones. *Teknos Revista Científica*, 4(2), 62-69.
- Schwarz, R. J., & Taylor, C. L. (1955). The anatomy and mechanics of the human hand. *Artificial limbs*, 2(2), 22-35.
- Seradge, H., Parker, W., Baer, C., Mayfield, K., & Schall, L. (2002). Conservative treatment of carpal tunnel syndrome: an outcome study of adjunct exercises. *The Journal of the Oklahoma State Medical Association*, 95(1), 7-14.

- Slautterback, E.G., Machin, R., Weston, Brown, J. (2002). *Universal wrist splint with removable dorsal stay*. No. US20040049141A1. Florida: United States Patent.
- Sperling, L., Dahlman, S., Wikström, L., Kilbom, Å., & Kadefors, R. (1993). A cube model for the classification of work with hand tools and the formulation of functional requirements. *Applied Ergonomics*, 24(3), 212-220.
- Vergara, M., Sancho, J. L., Rodríguez, P., & Pérez-González, A. (2008). Hand-transmitted vibration in power tools: Accomplishment of standards and users' perception. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 38(9-10), 652-660.
- Vernaza-Pinzón, P., & Sierra-Torres, C. H. (2005). Dolor músculo-esquelético y su asociación con factores de riesgo ergonómicos, en trabajadores administrativos. *Revista de salud pública*, 7, 317-326.
- White, P. D., Henderson, M., Pearson, R. M., Coldrick, A. R., White, A. G., & Kidd, B. L. (2003). Illness behavior and psychosocial factors in diffuse upper limb pain disorder: a case-control study. *The Journal of rheumatology*, 30(1), 139-145.
- Wong, E., Lee, G., Zucherman, J., & Mason, D. T. (1995). Successful management of female office workers with "repetitive stress injury" or "carpal tunnel syndrome" by a new treatment modality--application of low level laser. *International journal of clinical pharmacology and therapeutics*, 33(4), 208-211.
- Yagev, Y., Carel, R. S., & Yagev, R. (2001). Assessment of work-related risk factors for carpal tunnel syndrome. *IMAJ-RAMAT GAN-*, 3(8), 569-571.