



Diseño de un dispositivo ortésico funcional para apoyar los protocolos de rehabilitación de tenorrafia en mano.

Nombre del estudiante: Carlos Hugo Vergara Bernal

Correo electrónico Cvergara80@uan.edu.co

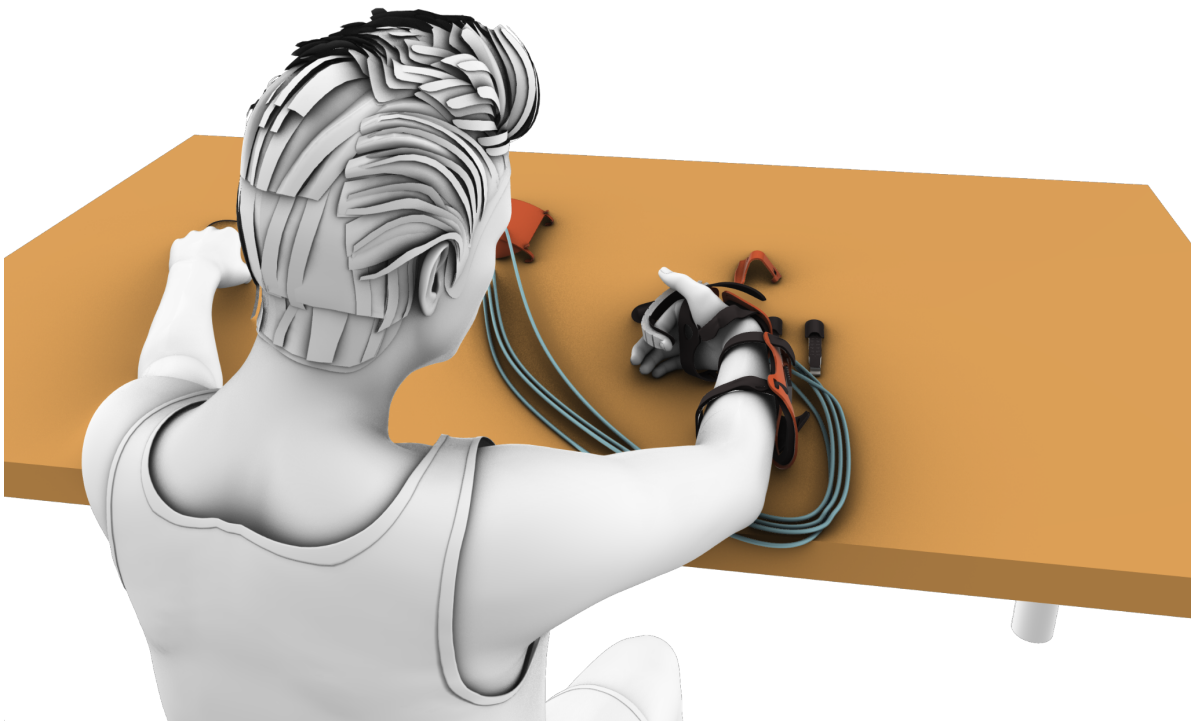
Director del proyecto: Camilo Ernesto Fuentes Arciniegas

Correo electrónico: cfuentes32@uan.edu.co

FACULTAD DE ARTES
PROGRAMA DE DISEÑO INDUSTRIAL
UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO
BOGOTÁ D.C.

2.023- I

Diseño de un dispositivo ortésico funcional para apoyar los protocolos de rehabilitación de tenorrafia en mano.



Resumen

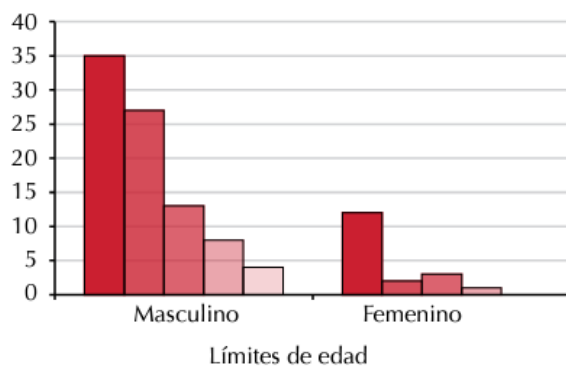
Este trabajo de grado presenta el diseño de un dispositivo de rehabilitación de tenorrafia en mano, utilizando la biomimesis como método de innovación-creación y de donde se deriva el concepto del mismo "biomimesis en el diseño, Concepto para una rehabilitación suave de mano". El objetivo del proyecto es crear un dispositivo ergonómico, funcional y escalable que permita la movilización pasiva temprana y periódica de los dedos mientras se inmoviliza la muñeca y las falanges proximales, haciendo toda esta labor en casa pero bajo supervisión de profesionales. El documento describe los actores involucrados en el proceso de rehabilitación, analiza las soluciones existentes y presenta un producto comercial en desarrollo. Se utiliza el modelo Canvas para organizar el sistema en su uso y se aplican otras metodologías para el diseño y desarrollo del dispositivo. Además, se proporciona una amplia revisión bibliográfica sobre lesiones de mano, condiciones y rehabilitación, incluyendo estudios epidemiológicos, biomecánica, enfermedad de Dupuytren, prototipos de ortesis de mano y terapia ocupacional.

Abstract

This work presents the design of a hand tenorrhaphy rehabilitation device, using biomimicry as a method of innovation-creation, which gives rise to the concept of "biomimicry in design. Concept for soft hand rehabilitation." The objective of the project is to create an ergonomic, functional, and scalable device that allows for early and periodic passive mobilization of the fingers while immobilizing the wrist and proximal phalanges. This entire process is intended to be carried out at home under professional supervision. The document describes the actors involved in the rehabilitation process, analyzes existing solutions, and presents a commercially developing product. The Canvas model is used to organize the system's use, and other methodologies are applied for the device's design and development. Additionally, an extensive literature review is provided on hand injuries, conditions, and rehabilitation, including epidemiological studies, biomechanics, Dupuytren's disease, hand orthosis prototypes, and occupational therapy.

Introducción:

Este proyecto se enfoca en mejorar la rehabilitación de personas con traumas en las manos, específicamente en los tendones flexores y extensores y en las regiones I, II y III de la mano después de una "tenorrafia" (cirugía de tendones). Después de investigar las patologías más frecuentes y comprometedoras en los pacientes, se encontró que los traumas del miembro superior representan al menos el 10% de los casos en Urgencias a nivel nacional (*Osnaya.M et al 2014*). Se trabajará en colaboración con personal médico y especialistas para diseñar un dispositivo biomédico que reforzará la rehabilitación en casos de heridas graves de la mano, enfermedad de Dupuytren y dedo en gatillo. Estas terapias tienen como objetivo inmovilizar por un tiempo determinado y restaurar el movimiento y la fuerza de los dedos, especialmente en la mano, dominante que es la más afectada en un 80% de los casos (*Osnaya.M et al 2014*). Aunque existen otras afecciones de la mano que podrían tratarse, este proyecto se centra específicamente en la rehabilitación de la tenorrafia de tendones flexores en la mano.

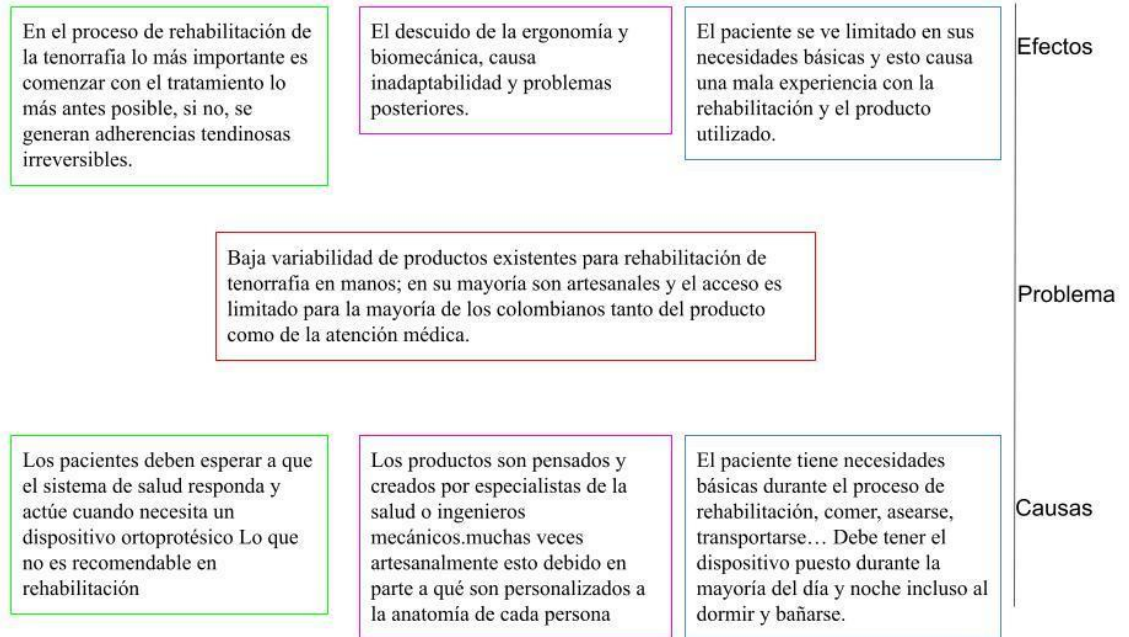


tomado de (*Osnaya.M et al 2014*)

Tabla donde se aprecia que la accidentalidad es mayor en hombres de entre 20 y 35 años.

Planteamiento de la necesidad, problemática y/o oportunidad:

Dada la configuración de los artefactos y dispositivos que se utilizan en la actualidad para acompañar los protocolos de rehabilitación de tenorrafia en mano (se especificarán a continuación), se ve la oportunidad de basarnos en los protocolos de rehabilitación de tenorrafia de Kleinert y Duran ya que básicamente funcionan bajo la misma configuración donde hay una ortesis de inmovilización en todos los casos y a demás una serie de adaptadores para los dedos, muñeca y antebrazo que pueden ser móviles, estáticos o ajustables, y cuya función es proporcionar estabilidad, inmovilizar, transmitir o recibir energía para movilización pasiva.



Elaboración propia - Árbol de problemas

Análisis de referentes.

Los dispositivos tradicionales en rehabilitación de tenorrafia en mano, son creados por personal médico, ingenieros mecánicos entre otros, que no consideran o están de cierta manera alejados de factores humanos como la ergonomía o modo de producción, sino que se centran en la función mediante el trabajo artesanal, dejando atrás la usabilidad y variabilidad, el pensamiento sistémico, incluso la producción en serie. Esto propone no solo que hay una oportunidad para el diseño industrial sino que existe una exploración importante sobre materiales y técnicas, lo que podemos utilizar como recurso principal para generar diferentes interacciones entre forma-función y usabilidad gracias a las pruebas ya hechas por años por el sector salud.

A continuación se presentan los protocolos de rehabilitación de tenorrafia en mano más usados por los especialistas en el contexto mundial.

Básicamente contamos con tres grandes grupos de protocolos para los tendones:

- Los protocolos de inmovilización, destinados a niños de corta edad o personas donde no podemos controlar el proceso.
- Protocolos de movilización pasiva precoz (en adelante, MPP) de Duran o pasiva-asistida precoz de Kleinert, con sus respectivas modificaciones. El protocolo de Durán sería el escogido en niños de entre 3 y 7 años y adultos cooperantes o en presencia de daños tisulares. El protocolo de Kleinert estaría indicado para niños con más de 7 años y adultos cooperantes, con lesiones simples y tratados por un equipo con experiencia.
- Protocolos de movilización activa precoz (a partir de ahora , MAP), que presentan gran cantidad de variantes. Estos protocolos tienen en común que requieren una reparación de suturas con 4 hilos o más (por la fuerza aplicada), un paciente motivado y un edema moderado. Contempla su aplicación a niños de más de 7 años y en adultos con lesiones simples, dedos flexibles y equipo con experiencia. (Blasco, Giménez M 2018).

Formulación de la necesidad, problemática y/o oportunidad:

Pregunta.

¿Cómo podemos aumentar la variabilidad de la condición actual en Colombia del proceso y mediadores para apoyar los protocolos de rehabilitación más usados de tenorrafia en mano?

Hipótesis

Es posible conectar las diferentes etapas del proceso de rehabilitación y crear un mismo dispositivo que apoye de principio a fin haciendo más amena la tarea.



Grafica Tomada de <https://www.pngegg.com/es/png-yyzne>

Justificación:

La mano es el instrumento transformador que le dio un gran impulso a la civilización humana dada su complejidad “La herramienta de herramientas (Sócrates)”, es también la extremidad en la que más apoyamos nuestras necesidades básicas en casa y otros entornos, su importancia nos hace dar vida a este proyecto.

Vivimos en un entorno donde la salud de la comunidad se ve afectada por diferentes factores de organización, espacios y otros... por tanto proponemos un producto que le brinde una mayor independencia a las personas que lo usen en su tratamiento.

Se consultó un estudio de la Universidad de Antioquia , el propósito de este estudio fue conocer el comportamiento epidemiológico de los pacientes adultos que consultaron en urgencias por cualquier tipo de Trauma del miembro superior (TMS) en el año 2016 en 6 instituciones de salud de la ciudad de Medellín (*Osnaya.M et al 2014*), evaluando variables demográficas y clínicas y la distribución de consultas por institución, causa y segmento afectado ésto nos da a conocer que esta patología es muy común sobretodo en accidentes de tránsito, accidentes caseros y accidentes laborales.

Las personas cuya situación termina en tenorrafia en la mano por traumas (golpes, cortes) o alguna patología (enfermedades congénitas, actividades repetitivas, entre otras) siempre ven limitadas sus funciones normales por al menos 3 meses lo que al analizar los diferentes dispositivos tradicionales nos damos cuenta que no cumplen con ciertos factores ergonómicos y funcionales así como de propiedades de los

materiales. Lo anterior indica una oportunidad de diseño, además se pretende que el paciente pueda hacer las movilizaciones desde su hogar ya que muchas veces se ve relegado a tener que desplazarse a un centro médico donde le puedan hacer los controles y movilizaciones al menos 3 veces a la semana; y sumado a esto, las repeticiones en movilizaciones en áreas afectadas se aconseja que sean sesiones de 10 minutos cada hora por lo que vemos una oportunidad ahí.

La variedad de objetos que apoyan la terapia de rehabilitación de tenorrafia en mano son creados y gestionados por personal médico e ingenieros mecánicos en su mayoría, por lo que también es de interés para este proyecto dada la oportunidad de incurrir en los productos biomédicos desde la pertinencia disciplinar del **diseño industrial** apoyado en los profesionales de la salud.

La demanda de productos ortoprotésicos y personal fisioterapéutico va en aumento de manera exponencial ya que según la OMS y para 2030 se van a necesitar al menos 1´ 500.000 profesionales en el área de la fisioterapia sólo en países miembros de la ONU; también asegura que solo el 10% de los que necesitan ortesis y protesis tiene acceso a ellas (*Normas de ortoprotésica 2017*), y así mismo numerosos productos que apoyen la variabilidad de los diferentes protocolos y patologías.

Ofrecemos una alternativa para comenzar lo más antes posible el tratamiento; En las condiciones actuales una persona puede durar al menos un año en la rehabilitación completa de su movilidad y fuerza motriz. Estas problemáticas se agudizaron durante y posterior a la pandemia, debido a una gran demanda de actividades en el

hogar, que van desde traumas en las manos por uso constante de computadores hasta accidentes caseros donde las manos resultan perjudicadas precisamente por ser la extremidad que más usamos en la mayoría de las tareas básicas y sobretodo complejas.

Objetivo General:

Diseñar un dispositivo escalable y evolutivo para el tratamiento de *tenorrafia* de manos, que apoye las distintas etapas del proceso de rehabilitación física donde se requiera un mediador que inmoviliza la muñeca y primeras falanges, y a su vez permita hacer movilizaciones pasivas tempranas y periódicas en dedos.

Objetivos Específicos:

1. Estructurar un dispositivo a partir del análisis de funcionalidad y usabilidad en protocolos, objetos y grupos humanos existentes.(grupo objetivo) arquitectura del dispositivo.

Tareas para cumplir el objetivo: Análisis de referentes, boceto, Aplicación de encuesta, Análisis de los protocolos utilizados en la rehabilitación de tenorrafia en mano, descripción de las partes involucradas paciente,

fisioterapeuta, prototipado para comprobaciones, síntesis y propuesta final

2. Construir las propuestas desde un proceso de conceptualización formal y funcional vinculados a determinantes y requerimientos propios del proyecto y otros factores

Tareas para cumplir el objetivo: Biomímesis aplicada en artrópodos por sus características funcionales y formales, helechos y otros referentes naturales.

Tareas para cumplir el objetivo: Crear una estructura básica,, Generar propuestas a partir de las propiedades de los materiales y experimentar con formas internas y externas, con densidades y diferentes materiales pertinentes.

4. Realizar comprobaciones iniciales con los materiales propuestos para la elaboración de planes de mejora a la propuesta final.

tareas: Crear un vínculo con el laboratorio de recursos hídricos de la UAN con el fin de usar sus impresoras 3D para hacer comprobaciones, moldes, piezas; Diseñar en rhino las piezas que se deben imprimir. crear carpeta con esos archivos.

Comprobar las diferentes características de los materiales a usar y las estructuras que necesiten para cumplir con la función establecida según cada material y sus procesos de producción, esto nos dará información para estar cambiando la forma y sus proporciones así como la posición de los diferentes elementos que complementan las funciones.

Marco de Referencia:

- La importancia de las manos para la vida diaria en cada tarea básica y compleja.

-En un estudio en 6 hospitales del departamento de Antioquia, se recogieron 260.000 casos de personas que ingresaron a urgencias en 2016, de la cual el 10% de los pacientes ingresaron por TMS y 80% afectaron la sección de la muñeca y mano.

(Osnaya.M et al 2014)

-La OMS advierte que para el 2030 se van a necesitar al menos 1.500.000 fisioterapeutas y aún más dispositivos ortoprotésicos, en las Naciones Unidas ONU solamente. *(Normas de ortoprotésica 2017)*

- Los dispositivos para movilización pasiva temprana son escasos, ineficientes y su precio es muy alto además de su necesidad de importación .

- En Colombia el 90% de los habitantes están afiliados a la salud pero el 75% están inconformes con la atención prestada, sabiendo que más de la mitad está afiliada al régimen subsidiado de salud. *(caracol radio /2020/11/03)*


- Contribuir al cumplimiento de los Objetivos de desarrollo sostenible (ODS) 3, 10, 11 y 12 *(.ODS. (n.d.) agenda 2030)*






-Los dispositivos tradicionales en rehabilitación de tenorrafia en mano, son creados por personal médico, ingenieros mecánicos entre otros, que no consideran factores humanos como la ergonomía y biomecánica o de producción sino que se centran en la función y el trabajo artesanal dejando atrás la usabilidad y variabilidad incluso la producción en serie.



Según el decreto 4725 de 2005 que clasifica y regula los dispositivos médicos, este dispositivo se clasifica como clase 1 riesgo bajo y es una ortesis funcional (OH).

(OPS. 2020)

Análisis de las soluciones existentes - metodo ingeniería del valor

Dispositivos de referencia.	nombre	Características Físicas	función	interacción usuario	disponibilidad	material es	etapa de rehabilitación que apoya	¿qué podemos rescatar ?
	ejercitador de flexores ortesis dinámica	Adaptable, acople para dedos, fuerza de tensión no regulable, estructura espaciosa y posición correcta del pulgar. diferentes herrajes comerciales. color azul combinado con blanco y negro, está hecho de polimeros, y metales. baja cósmosis	Ejercitar, incrementar la musculatura, produce resistencia mediante tensión y varios puntos de apoyo.	Postura, calibración, protocolo. flexionar los tendones	Normalmente se debe importar, el precio es de al menos 340.000 Cop	PLatina aluminio, herrajes comunes, cuero sintético, espuma de poliuretano, velcro, HDPE, resortes.	Etapa intermedia y final	El sistema de sujeción al brazo se nota ajustable, cómodo.

	férula tipo kleinert de movilización temprana activa ortesis dinámica	termoplástico acoples al dedo pegados con pegamento a las uñas, adosada a la mano con vendas textiles, punto de pivote de las cuerdas improvisado(gancho nodriza).	inmovilizar y proporcionar tensión en flexores para que los extensores trabajen activamente	el paciente puede hacer sus movilizaciones activas tempranas gracias a la resistencia del caucho en cada dedo	El terapeuta realiza en su consultorio o taller la férula a medida con el paciente	Polietileno de baja densidad calibre 3 mm, cauchos, herrajes, vendas textiles, velcro .	Etapa temprana	la posición de la muñeca, los puntos de anclaje a la mano y los puntos de pivote de los cauchos
	ejercitador de extensores	realizado en polímeros posee un cuerpo principal que se adosa a la muñeca y palma de la mano, accesorios para posicionar los dedos que a su vez están conectados a la región palmar mediante caucho resistente a la tensión.	ejercitar Iso tendones extensores de la mano por medio de cauchos y aditamentos de muñeca y palma.	se adapta a la mano, muñeca y a los dedos, el usuario debe hacer movilizaciones activas para fortalecer sus músculos	el producto se puede importar por el valor de 150.000	polímero inyectado, herrajes metálicos, caucho inyectado, velcro.	etapa final	adaptación a la muñeca mano.
	ejercitador tensores y extensores	todo se basa en la lámina perforada donde se puede acomodar el resto de los elementos de pivote y tensión según sea necesario para ejercitar los tendones tensores de la mano	adaptarse a las diferentes anatomías para brindar puntos de tensión para recuperar masa muscular	El usuario se posiciona y un tercero le acomoda los diferentes aditamentos para desarrollar los ejercicios.	el producto permanece en establecimientos de salud.	Tabla metálica, rodillos de ajuste e hilo caucho.	etapa final	capacidad de adaptación a diferentes anatomías y ejercicios
	férula de muñeca para síndrome de dedo en gatillo	posee un parte rígida en la muñeca que actúa como férula y un tensor para el pulgar	ejercitar el pulgar y mantener la muñeca en posición de extensión.	Se debe acoplar a la mano y realizar los ejercicios según protocolo.	se puede comprar o se puede hacer por un fisioterapeuta moldeando termoplástico.	LDPE + hilo caucho.	etapa temprana e intermedia	forma en la que se inmoviliza la muñeca
	exo glove poly	cosmosis positiva, material incoloro y semirrígido, se adapta a cualquier anatomía	proporcionar al paciente una mayor independencia en tareas básicas que no puede realizar por falta de pinza en su mano.	El usuario acciona un botón para que la ortesis se accione y mueva sus dedos en flexión para agarrar objetos.	No es un producto comercial. es un dispositivo en desarrollo. universidad de Seul korea	Polímero inyectado, guaya metálica, servomotores	etapa de rehabilitación que pretende que se reorganicen las neuronas de nuevo.	tecnología prensil y forma de adaptación a ergonomía

	<p>modulos de material textil semirigido que trae pegamento por una cara y funciona en muchos casos como férula.</p>	<p>cósmosis, material compuesto, tiras elásticas y adhesivas</p>	<p>Férula instantánea para deportes mayormente.</p>	<p>el usuario despega y pega la sbandas a su antojo para reemplazar de cierta manera la tención de un musculo.</p>	<p>Se pueden pedir por internet ya que aquí no las fabrican.</p>	<p>textil elástico con capa de pegamento para piel.</p>	<p>etapa final y posterior al tratamiento como soportes temporales.</p>	<p>la forma en que se adaptan a la piel por medio de pegamento</p>
	<p>dispositivo electrónico actuador adaptable a la mano y muñeca</p>	<p>materiales textiles y actuadores por medio de servomotores</p>	<p>este trabaja básicamente con movilización pasiva y tiene una función de reflejo donde se adapta un guante en la mano no dañada y el otro guante replica dichos movimientos actuando directamente sobre la neuroplasticidad</p>	<p>El usuario usa este dispositivo según protocolo dictado por el fisioterapeuta y se traduce en parámetros para el sistema automatizado.</p>	<p>Este Dispositivo por lo general es costoso y su desuso no está programado .</p>	<p>Está construido en diferentes materiales así como cuenta con una interfaz electrónica de control que se retroalimenta y actúa según parámetros.</p>	<p>para el tratamiento que maneja (rehabilitación neuroplasticidad), se utiliza por lo general desde las primeras etapas.</p>	<p>la forma en la que se adapta a los dedos, los mecanismos actuadores.</p>

Proceso a grandes rasgos de cómo se efectúa la rehabilitación paso a paso en términos de semanas.

Semana 1:

Inmediatamente después de la tenorrafía, se realizará una evaluación para determinar el rango de movimiento inicial y establecer una línea base.

Se comenzará con ejercicios de movilización temprana pasiva, donde el terapeuta moverá suavemente los dedos y la mano del paciente sin la participación activa de este.

Estos ejercicios se realizan varias veces al día para prevenir la rigidez articular y

promover la circulación sanguínea en la zona afectada.

Semana 2-3:

Se seguirán con los ejercicios de movilización temprana pasiva, pero se agregarán movimientos más amplios y se trabajarán diferentes planos de movimiento.

Se introducirán técnicas de estiramiento suave para aumentar gradualmente la flexibilidad de los tejidos y prevenir la formación de adherencias.

El terapeuta también puede aplicar técnicas de terapia manual, como masajes y movilizaciones articulares suaves, para mejorar la movilidad y reducir la inflamación.

Semana 4-6:

A medida que la cicatrización progresa y la estabilidad de los tejidos mejora, se comenzará a incorporar ejercicios de movilización activa asistida.

El paciente comenzará a participar activamente en la movilización de la mano con la ayuda del terapeuta, utilizando su propia fuerza muscular.

Se trabajarán ejercicios de amplitud de movimiento, flexión y extensión de los dedos, así como de supinación y pronación del antebrazo.

Semana 7-12:

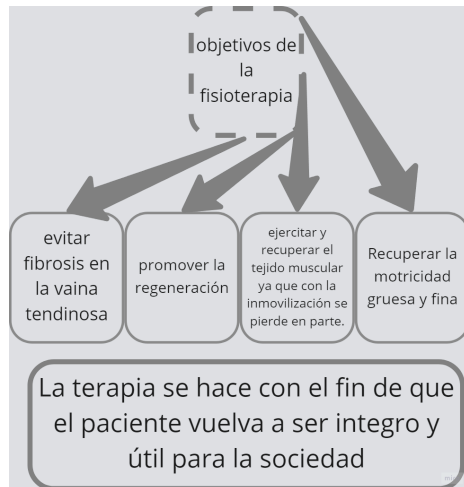
Se seguirá progresando en los ejercicios de movilización activa asistida, enfocándose en aumentar la fuerza y la coordinación de la mano.



Se agregarán ejercicios de resistencia para fortalecer los músculos y tendones implicados en la tenorrafia.



Se realizarán actividades funcionales y capacidades específicas de la vida diaria que

requieran el uso de la mano, adaptándolas según las necesidades del paciente.

(Abzug et al 2011)



Referentes funcionales-estéticos	atributo-nombre	Que estoy revisando	Me interesa
	soft robotics technology	Tecnología mecánica a base de geometrías en espumas o silicona movidas por hidráulica simple	Es una tecnología que se está introduciendo en los productos biomédicos
	Necrobótica	Los artrópodos utilizan aire para mover sus articulaciones	Nos da cuenta de las posibilidades dentro de un cuerpo pequeño

	<p>Articulaciones escorpión</p>	<p>Posee unas articulaciones únicas en el reino animal</p>	<p>Las uniones entre partes de la cola tienen 5 puntos de flexión en todas las direcciones.</p>
	<p>Hojas de un helecho naciendo</p>	<p>A medida que va creciendo se va desenrollando y tomando masa</p>	<p>éste principio se puede aplicar a diferentes facetas del proyecto</p>

Metodología para la Formulación del Proyecto:

El proyecto se formuló gracias a un interés personal y la oportunidad de trabajar en un producto biomédico cuyo interés fue despertado en mí por conversaciones con terapeutas físicos donde descubrí que existen grandes oportunidades para el diseño industrial en el área de apoyo a la rehabilitación física.

Se hizo una recopilación en bases de datos fiables de información referente a la terapia física para tenorrafia de mano; los tipos de productos y dispositivos que se utilizan actualmente en el contexto colombiano; los problemas más frecuentes en rehabilitación de tenorrafia de mano, patologías similares y sus tratamientos; contexto de esta patología en clínicas nacionales y extranjeras.

-Trabajo interdisciplinar. Hicimos una reunión para compartir información con especialistas. Donde se les exponen los objetivos y éstos son validados y se hacen

aclaraciones sobre los protocolos de Kleinert y de Durán con sus modificaciones ya que son los más usados. se examinan los diferentes dispositivos que apoyan la rehabilitación de tenorrafía, también se pudo conocer sobre las etapas de la rehabilitación.

- Analisis de referentes

Se detectó que la gran mayoría de los productos de la competencia desconocen aspectos de diseño fundamentales con la ergonomía y la biomecánica ya que por lo general, estos son diseñados y fabricados por ingenieros mecánicos, doctores, programadores y personal de hospital, quienes no se especializan en el factor humano y allí encontramos que al ser productos terapéuticos al menos se debe revisar de manera evolutiva la forma en que estos dispositivos se adaptan al cuerpo humano y sus características de fragilidad frente a los movimientos repetitivos y desgastantes que van en contra del libre y natural movimiento de las articulaciones y en general el sistema motor provocando por esto y factores estéticos asociados, una experiencia negativa en los pacientes y es allí donde se ve la pertinencia disciplinar. *Ver anexo. Capítulo de la forma*

El uso de férulas es el tratamiento ideal para estas lesiones. Las Férulas de Kleinert, son utilizadas para evitar deformidades y adherencias, haciendo movilizaciones controladas de la zona comprometida. Dicha férula:

- Se coloca en el área dorsal.

- 30° de flexión
- Hilo Cauchos pegados a las uñas
- Polea palmar hacia tubérculo de escafoides

El fin es que el usuario pueda hacer extensión activa dentro de la férula y flexión pasiva por las bandas elásticas, 10 repeticiones cada hora con el fin de lograr extensión completa de los dedos.

Es importante educar al paciente acerca de la importancia de la disciplina a la hora de hacer los ejercicios y la importancia de seguir instrucciones durante el tratamiento y la realización de las tareas asignadas por el terapeuta para que lleve a cabo en casa.

- Estructuras básicas usadas por los dispositivos existentes, de donde se crearon 3 propuestas y solo se desarrolla la que soporta los requerimientos y determinantes.
- Se evidencia que son tres puntos (1,2 y 3) en la mano donde ocurren diferentes funciones de los dispositivos de referencia.



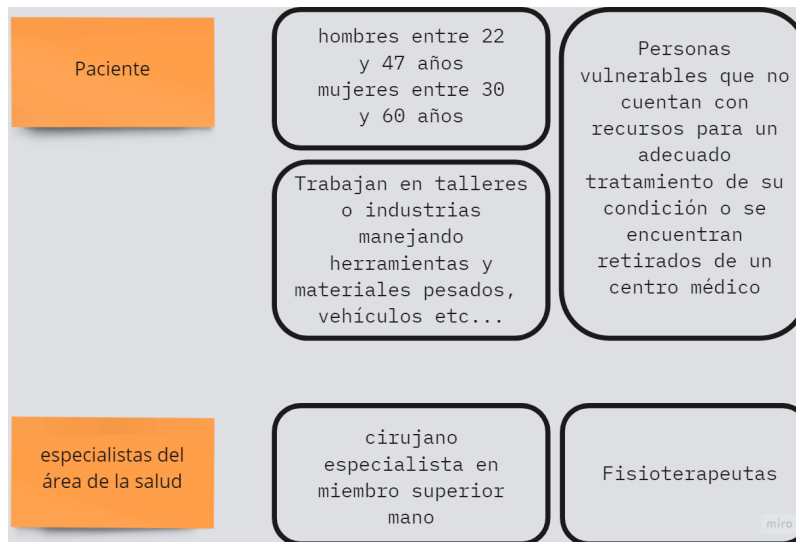
1 Zona de los dedos

2 Zona palmar

3 Zona del antebrazo-muñeca

Análisis de zonas de las manos donde comúnmente se posicionan los dispositivos . Elaboración propia

Elaboración propia. Descripción de los actores involucrados en el proceso de rehabilitación de la tenorrafia en mano.



En el artículo *Soto, J. (2007). Introducción. PharmacoEconomics Spanish Research Articles , 4 (S1), 1–2. <https://doi.org/10.1007/bf03320921>* se ha definido biomímesis como “la emulación consciente de la genialidad de la naturaleza”. Es decir:

“Consciente”: ser intencionado

“Emulación”: aprender de los organismos vivos y aplicar esos conocimientos profundos a los retos que los humanos queremos resolver.

“Genialidad de la naturaleza”: reconocer que la vida ha desarrollado soluciones bien adaptadas que han pasado la prueba del tiempo, dentro de las restricciones de un planeta con recursos finitos.

Análisis de la forma total *(Tjalve, E. 2015)*

Propuestas con bocetos, cortes de papel, modelado rápido de cada parte que conforma el producto teniendo en cuenta forma y función para poder ir evolucionando hacia la funcionalidad y la usabilidad.

-Prototipos de diferentes rangos y que se fueron utilizando como medio de expresión y concreción de la forma que iba evolucionando y sintetizando según cada prueba en anatomía sobretodo en amigos y familia que estuvieran dentro del rango de edad y pudieran aportar información básica sobre el ajuste, peso, proporción y otros como partes móviles. *Ver anexo. Capítulo de la forma. Para tener mayor claridad sobre las decisiones formales, estéticas e incluso funcionales.*

Creación de valor

Identificar las funciones clave: Las funciones clave del dispositivo deben estar claramente definidas. Estas funciones deben estar alineadas con los objetivos del dispositivo y deben ser coherentes con las necesidades de los pacientes.

Evaluar la competitividad del dispositivo: Evaluar la competitividad del dispositivo en el mercado. Esto incluye analizar las características del dispositivo en comparación con los dispositivos similares en el mercado.

Identificar los posibles problemas: Identificar los posibles problemas que podrían surgir durante la fase de prueba del dispositivo. Los problemas pueden incluir problemas técnicos, problemas de diseño o problemas de seguridad.

Realizar pruebas de campo: Realizar pruebas de campo del dispositivo con un grupo objetivo no necesariamente pacientes. Registrar y analizar los resultados de las pruebas.

Tomar decisiones y hacer mejoras: Basándose en los resultados de la fase de prueba, tomar decisiones sobre cómo mejorar el dispositivo y hacer las mejoras necesarias antes de concluirlo.

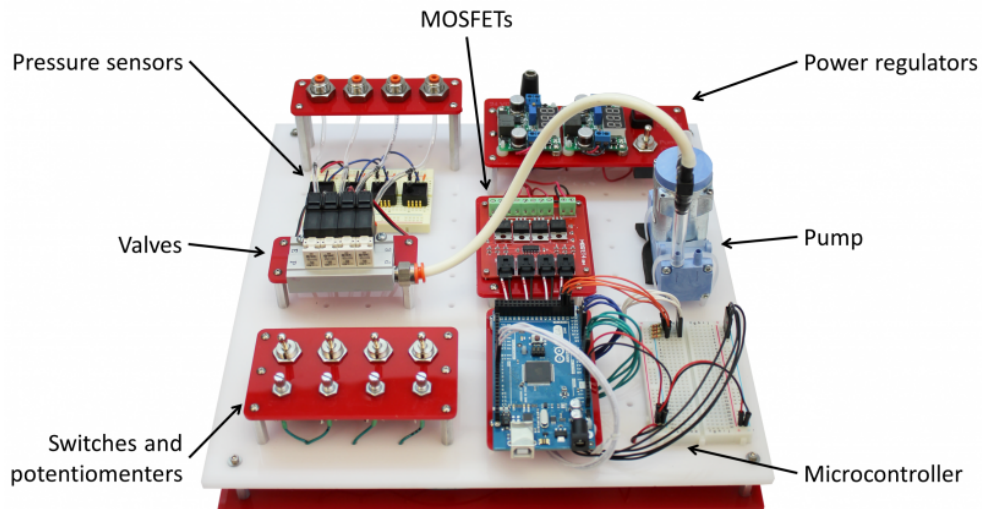
El método de producción necesita de tecnología accesible, además hemos diseñado bajo el concepto de optimización del material creando partes del dispositivo con los “sobrantes de sus mismos cortes”

Focus group con compañeros diseñadores y profesores donde se evalúan cambios y mejoras en diferentes momentos del desarrollo de manera informal y se representa

en cambios de la estética y funcionalidad evolutivamente.

Harvard university soft robotics toolkit-Tarjeta de control de fluidos

Es una serie de herramientas para controlar y crear soft robots que además es open source, Ofrecen una plataforma de hardware de código abierto que por su capacidad de suministrar aire desde una válvula a cuatro diferentes salidas y así mismo poder controlar la presión del aire y en qué momento deja de imprimir presión nos da unas características deseables para la presión y configuración neumática para el dispositivo y la posibilidad de reconfigurar la parte del control mediante un controlador sencillo e intuitivo diseñado para usarlo la otra mano.



Modelo canvas para organizar el sistema - sustentabilidad

Segmentos de clientes:

Pacientes en proceso de rehabilitación de tenorrafia en mano.

Clínicas de rehabilitación y hospitales que ofrecen servicios de rehabilitación.

Médicos especialistas que prescriben dispositivos de rehabilitación de tenorrafia en mano a sus pacientes.

Propuesta de valor:

Ofrecer un dispositivo que apoye la rehabilitación de tenorrafia en mano efectivo y fácil de usar que ayude a los pacientes a recuperar la funcionalidad de su mano después de una lesión que proporcione una mayor comodidad en sus rutinas diarias y que se acomode tanto a sus actividades básicas como sus actividades de rehabilitación y sus modos.

Diseñar un producto que brinde una usabilidad acertada y a su vez que la apariencia y composición no comprometan aún más la discapacidad temporal del paciente y por el contrario a través de colores y formas podamos influir de manera positiva en la rehabilitación desde un punto de vista de la percepción sensorial.

Permitir a los pacientes recibir el dispositivo durante el proceso de rehabilitación y retornarlo después de su uso, cuando cumpla su propósito

Ofrecer el dispositivo a través de clínicas y médicos especialistas que pueden proporcionar una prescripción y asesoramiento sobre su uso quienes también los van a monitorear.

Canales:

Distribución del dispositivo a través de clínicas de rehabilitación y hospitales.

Promoción del dispositivo a través de medios digitales y publicidad en publicaciones médicas.

Relación con clientes:

Mantener una relación cercana con los pacientes y clínicas que ofrecen el dispositivo para asegurar que estén satisfechos con el producto y el servicio.

Fuentes de ingresos:

Donaciones por parte de entidades públicas o privadas.

Ventas del dispositivo de rehabilitación de tenorrafia en mano.

Tarifas de alquiler para el dispositivo.

Recursos clave:

Diseñadores y desarrolladores de productos biomédicos.

Proveedores de materiales para el dispositivo.

Proveedor de recolección de material sobrante de la producción para reciclarlo.

Personal de marketing y ventas.

Expertos en investigación y desarrollo de dispositivos médicos.

Actividades clave:

Capacitaciones sobre los beneficios del producto

Investigación y desarrollo del dispositivo de rehabilitación de tenorrafia en mano.

Pruebas y validación del dispositivo.

Producción y fabricación del dispositivo.

Promoción y distribución del dispositivo.

Recuperar los dispositivos

Aliados clave:

Clínicas y hospitales que ofrecen servicios de rehabilitación.

Médicos especialistas en lesiones de la mano y rehabilitación.

Proveedores de materiales para el dispositivo.

Donantes para el desarrollo de otros dispositivos y mejora de los actuales.

Estructura de costos:

Costos de investigación y desarrollo.

Costos de producción y fabricación.

Costos de promoción y publicidad.

Costos de distribución y logística.

Este modelo Canvas ayuda a estructurar la idea de negocio para el producto de rehabilitación de tenorrafia en mano, también le da un camino de sustentabilidad al proyecto.

La biomimesis como método de innovación-creación

Una de las tendencias actuales en el diseño industrial es la biomímesis, que consiste en imitar la forma, función y procesos biológicos de la naturaleza para crear productos más eficientes y sostenibles. En este caso nos hemos dado a la tarea de analizar tras de una segmentación, la forma en que los artrópodos ejecutan los movimientos de sus extremidades (metasómas) dada su capacidad de múltiples movimientos en una misma articulación y como estas son movidas por energía

neumática lo que se evidencia en la teoría de la Necrobótica y sus aplicaciones en robótica suave, recurso que es esencial en el desarrollo de este proyecto. (Soto, J. 2007).

Equilibrio en la relación orgánica entre las partes del todo

- **Taller de diseño donde se fueron encontrando las variantes ...**

-

- **Modelado de la propuesta definitiva**

Modelado de la propuesta en 3D con el fin de evaluar y comprobar diferentes aspectos de producción por un lado, y presentación a los jurados del proyecto ya en etapas finales; pero también con la intención de adelantar piezas gráficas complementarias.

- **propiedades de los materiales.**

Apropiación y caracterización de las propiedades de los materiales con los que se está trabajando y que nos permite experimentar de diferentes maneras con objetivos alrededor de la estética, la higiene, el peso, y otros factores técnico-productivos. Esto es esencial en un proceso de diseño de producto dado el grado de valor que le puede aportar a la solución final que se decida entre el grupo de diseñadores.

Conceptualización:

Proceso de bocetación: que apoya al método para concluir la forma final del producto y configurar así el diseño de detalle.

Requerimientos y determinantes:

A continuación se proponen los requerimientos y determinantes relacionando tres aspectos principales que son: un análisis de los dispositivos existentes; un acercamiento a las variabilidades y procedimientos de los protocolos que se usan actualmente en rehabilitación de tenorrafía en mano (Durán y Kleinert y sus variaciones);

Propiedades de los materiales.

Determinantes

- Optimizar aspectos relacionados con el material, y el modo de producción referido en los dispositivos actuales.
- Liberar al paciente de las molestias del uso prolongado de las ortesis disponibles ahora. proponer en base a las propiedades de los materiales.
- Conceptualizar el producto basado en referentes naturales (biomorfismo, biónica) que brindan diferentes soluciones formales, estéticas, semióticas y funcionales.
- Crear un sistema que le permita al paciente tanto inmovilizar la parte

afectada, como realizar los ejercicios por su cuenta en períodos repetitivos durante el día, para que no deba desplazarse a un centro médico.

- Conseguir un proveedor de impresión 3d que quiera ayudar a éste proceso académico y se sugiere consultar con el laboratorio de recurso hídricos de la UAN

Requerimientos

- Acortar los tiempos de rehabilitación gracias a brindar un sistema que haga repeticiones a voluntad en cualquier momento del día sin necesidad de desplazarse a un centro médico
- Debe contar con una funcionalidad honesta con las posibilidades de los distintos usuarios durante el desarrollo de sus actividades básicas como bañarse, alimentarse o dormir.
- Cumplir con parámetros sanitarios y ergonómicos conforme a las leyes del mercado al que dirige.
- Retroalimentar el proyecto con la opinión de los diferentes actores de carácter profesional.
- Crear una interfaz cuya sencillez y ergonomía permite que exista un mayor interés del paciente por la rehabilitación y no la abandone.
- Los materiales que se utilicen deben ser lavables, inodoros, transpirables, en lo posible no metales ferrosos.
- Debe contar con diferentes partes que se adapten a las regiones del brazo,

muñeca, palma y dedos de la mano además de un sistema neumático para actuadores en dedos y su controlador.

- Ha de adaptarse a las diferentes anatomías (20-50 años, población productiva) y actividades de los pacientes dentro de los rangos establecidos (actividades básicas)

Conceptualización de propuestas:

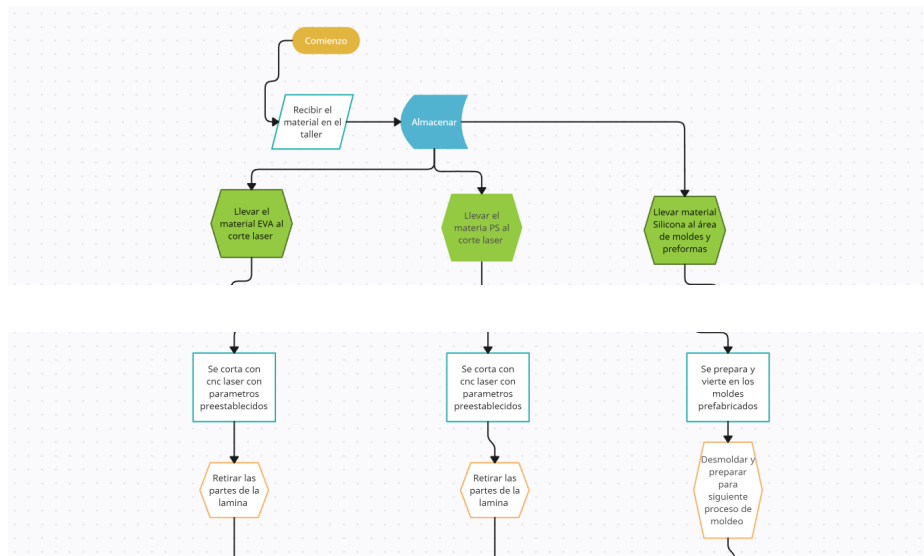
Es importante mencionar que el proceso creativo es transversal en éste proyecto y por tal motivo desde las primeras fases se ha venido conceptualizando alrededor de la de la percepción, la forma y la tecnología cómo método a través del boceto y comprobaciones de material, basándonos en tecnologías usadas en otros campos que son de interés para el proyecto y además una integración de elementos funcionales de la naturaleza en artrópodos y helechos como inspiración biomecánica y estética dada su complejidad anatómica (*Wirkner, G. A. M. 2021*)

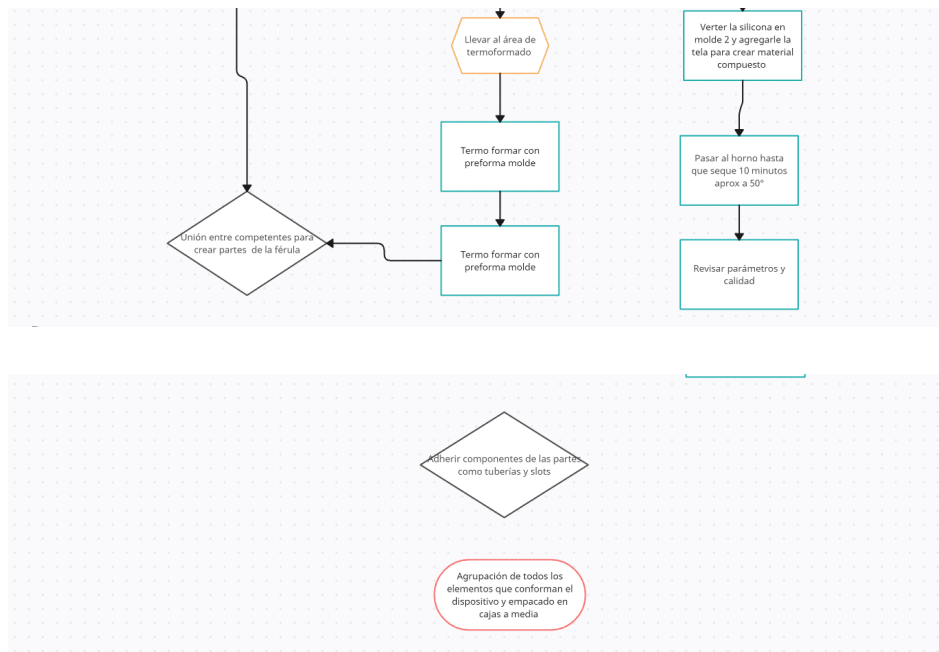
Observación de la biomecánica de los movimientos dentro de los protocolos de kleinert y Duran: movimiento de flexión con una supinación de 40° en la muñeca y 30° en las primeras falanges(en promedio) para la férula que se utiliza por un tiempo prolongado(más de un mes y medio) y durante 24 horas al día aprox. (*Blasco, GM 2018*)



En la Figura se observa el movimiento básico en los ejercicios, donde también se aprecia importante que se transmite la fuerza bajo una escala según lo dicte el médico quien estará monitoreando el proceso y generando cambios progresivamente a medida que el paciente asiste a controles periódicos pero con menos frecuencia que en otros sistemas de rehabilitación.

Diagrama de flujo proceso productivo





Secuencia de uso

1. El paciente adquiere el dispositivo a través de su médico y recibe instrucciones sobre su uso adecuado.
2. Antes de comenzar, el paciente asegura que la mano esté limpia y seca.
3. El paciente coloca la férula de inmovilización en su mano, asegurándose de que esté ajustada correctamente para evitar movimientos no deseados en la muñeca y las falanges proximales.
4. Si es necesario, el paciente retira una parte de la férula para permitir la colocación del dispositivo actuador sin mover lo que pasa en la muñeca.
5. El paciente enciende el dispositivo y lo conecta a través de la aplicación

en su teléfono móvil o tablet.

6. Desde la aplicación, el paciente selecciona el programa de rehabilitación correspondiente, que se basa en los protocolos de Kleinert y Duran para los ejercicios de movilización de los dedos.

7. El paciente ajusta los parámetros de tiempo y repetición según las indicaciones de su médico.

8. Con el dispositivo colocado en la mano, el paciente activa el sistema neumático que proporciona las movilizaciones pasivas a los dedos.

9. Durante los 10 minutos de cada hora programada, el paciente siente cómo el dispositivo realiza movimientos suaves y controlados en los dedos, promoviendo la rehabilitación de la tenorrafia.

10. El paciente puede realizar otras actividades durante el tiempo de inactividad del dispositivo, siempre y cuando no interfieran con la inmovilización de la muñeca y las falanges proximales.

11. Después de completar la sesión de rehabilitación, el paciente apaga el dispositivo y lo desconecta de la aplicación.

12. El paciente sigue las indicaciones de su médico en cuanto a la frecuencia y duración de las sesiones de rehabilitación, así como los cambios semanales en los programas de ejercicios.

13. En las visitas presenciales con el médico, a través de la aplicación, se realizan los ajustes y cambios necesarios en el programa de rehabilitación, utilizando el sistema Arduino y la bomba neumática controlados por el

dispositivo.

14 El médico monitorea el progreso del paciente a través de la aplicación y brinda retroalimentación y apoyo adicional según sea necesario.

Conclusiones

Se sugiere que después de éste trabajo académico se proceda a hacer las comprobaciones con usuarios, dada la complejidad del desarrollo funcional que llegó a los mejores términos funcionales, estéticos y cuyo fin era completar los objetivos planteados en términos formales, funcionales y estructurales en un camino hacia la usabilidad y la experiencia del usuario en una condición especial médica adquirida. Y porque los estudios y otorgamiento de permisos para información de pacientes se conceden en casos muy especiales al menos en los casos consultados en clínicas de Bogotá donde encontramos que no es muy común y por tanto hay retrasos y otros factores que no permitieron las comprobaciones.

Podemos decir también que los materiales pueden ser actualizados hasta llegar a un material que tenga unas características de fabricación, mecánicas u otras que puedan ser mucho más provechosas para cumplir los objetivos y que incluso su medio de producción se pueda cambiar diría tentativamente que a una inyección de polímero.

En general el trabajo que se hizo fue se experimentación sobre el material, la forma, y el detalle y se hace énfasis en ello dado el resultado que ha dado esta metodología a lo largo de mi carrera que se basa en poner como método transversal la creatividad en la comprobación de la forma.

Agradecimientos

Deseo agradecer en primer lugar a mis padres Sandra R. Martinez y Carlos A. Vergara por su apoyo incondicional y por los valores tan lúcidos que depositaron en mí desde siempre. También quiero agradecer a mis amigos más cercanos quienes siempre creyeron en mí y me animaron en los momentos más difíciles de mi vida personal y académica y porque me enseñaron que existen lazos imposibles de borrar y su convicción siempre me inspiró. Quiero agradecer también a toda la comunidad académica de la universidad Antonio Nariño por actual con tan impecable profesionalidad pero en especial a mi tutor de la tesis el profesor Camilo Fuentes por enseñarme que lo que puedo pensar lo puedo lograr. Por último debo agradecer mi constancia y voluntad inquebrantable que me llevaron a superarme en cada proyecto y en especial en éste que presento aquí.

Bibliografía:

1. Abzug, J., Adams, J. E., Alter, S., Altman, E., Amadio, P. C., Armstrong, T. J., Artzberger, S. M., Ashworth, S., Aulicino, P. L., Badia, A., Baratz, M. E., Barbe, M., Barr, A. E., Bathen, M., Beasley, J., Bednar, J. M., Krotoski, J. A. B., Belsky, M. R., Beredjikian, P. K., ... Zelouf, D. S. (2011). Contributors. In *Rehabilitation of the Hand and Upper Extremity, 2-Volume Set* (pp. ix–xx). Elsevier.

2. Blasco, G. M. (2018). ELECCIÓN DE UN PROTOCOLO DE MOVILIZACIÓN PRECOZ DE. Revistatog.com.
<http://www.revistatog.com/num28/pdfs/caso2.pdf>

3. Levy, V. D. (2020). Vista de Reparación primaria de los flexores en la zona II. Actualización y técnica quirúrgica. Org.ar.
<https://raaot.org.ar/index.php/AAOTMAG/article/view/1356/4256>

4. Normas de ortoprotésica de la OMS. Parte 1. Normas [WHO standards for prosthetics and orthotics. Part 1. Standards]. Ginebra: Organización Mundial de la Salud; 2017. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

5. ODS. (n.d.). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Objetivos de Desarrollo Sostenible - La Agenda 2030 en Colombia - Objetivos de Desarrollo Sostenible. Retrieved September 29, 2022, from <https://ods.dnp.gov.co/es/objetivos>

6. OPS. (2020). Dispositivos médicos. Paho.org. <https://www.paho.org/es/temas/dispositivos-medicos>

7. Osnaya-Moreno, H., Romero-Espinosa, J. F., Mondragón-Chimal, M. A., OchoaGonzález, G., & Escoto-Gómez, J. A. (septiembre-octubre 2014). Estudio epidemiológico de las lesiones traumáticas de mano en un Centro Médico de Toluca, Estado de México. Redalyc.org. <http://chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.redalyc.org/pdf/662/66231760006.pdf>

8. Parámetros antropométricos de la población laboral colombiana. (n.d.). Retrieved March 2, 2023, from <http://chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.redalyc.org/pdf/120/12058127011.pdf>

9. Soto, J. (2007). Introducción biomimesis. PharmacoEconomics Spanish Research Articles, 4(S1), 1–2. <https://doi.org/10.1007/bf03320921>

10. Tjalve, E. (2015). Diseño sistemático de productos industriales.

11. Wirkner, G. A. M. (2021). Título de la revista Revista de la interfaz de la Royal Society Tipo de artículo Artículo de investigación Fecha de publicación Fecha de publicación Del año 2021 al año 2021 Autor Gunther, Alicia Monod, Lionel Wirkner. Christian S.

Terminología Básica:

1. TMS: trauma del miembro superior.
2. Tenorrafia: unión de los extremos de un tendón con suturas en un proceso quirúrgico que varían según el diagnóstico profesional.
3. Mano hemipléjica: Imposibilidad para poder hacer ningún tipo de pinza, ya sea en cuanto a los dedos o a la muñeca, lo que supone que no pueda agarrar objeto de ninguna clase.
4. vaina tendinosa: recubrimiento del tendón que lo contiene y dirige

5. fibrosis condición que deseamos evitar donde la vaina tendinosa y el tendón se unen restringiendo de por vida el movimiento normal previo.
6. Soft robotics: Tecnología neumática cinética que recién ingresa al campo de la medicina con grandes oportunidades.

Anexos Revise este apartado para completar la lectura del proyecto

Capítulo de la forma:

<https://www.behance.net/gallery/171736385/Capitulo-de-la-forma-EXOFLE>

[XO](#)

Preguntas a los dos especialistas:

<https://forms.gle/1PPNUnKecoxkW1Bz8>