

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
LICENCIATURA EN DISEÑO INDUSTRIAL

“DISEÑO DE PRÓTESIS FALÁNGICA PARA MIEMBRO SUPERIOR”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN DISEÑO INDUSTRIAL

PRESENTA

JESÚS ADRIÁN MORENO PÉREZ

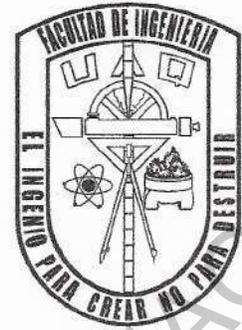
DIRIGIDA POR

LDI. ALEJANDRO ANTONIO SALINAS AGUILAR

SANTIAGO DE QUERÉTARO, QUERÉTARO, 2021



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
LICENCIATURA EN DISEÑO INDUSTRIAL



Diseño de prótesis falángica para miembro superior
TESIS

Que como parte de los requerimientos para obtener el grado de
Licenciado en Diseño Industrial

PRESENTA

Jesús Adrián Moreno Pérez

DIRIGIDO POR

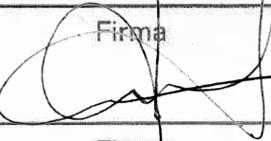
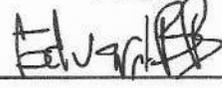
MDI. Alejandro Antonio Salinas Aguilar

MDI. Alejandro Antonio Salinas Aguilar
Presidente

MDI. José Hector López Aguado Aguilar
Secretario

MDI. Eduardo Blanco Bocanegra
Vocal

Dra. Hilda Romero Zepeda
Suplente


Firma
Firma
Firma
Firma

Dr. Manuel Toledano Ayala
Director Facultad de Ingeniería

Dr. Javier Ávila Morales
Secretario Académico

CENTRO UNIVERSITARIO
QUERÉTARO, QRO. MÉXICO
SEPTIEMBRE 2021

Resumen

La presente investigación aplicada tuvo por objetivo desarrollar un dispositivo médico auxiliar en el tratamiento para personas con amputación menor en extremidades superiores. Si bien la pérdida traumática de una parte del cuerpo condiciona la salud del individuo limitando el funcionamiento de la estructura anatómica afectada, estas lesiones también representan secuelas de índole psicológica, atadas a sentimientos de inseguridad, tristeza y baja autoestima, conceptos que generalmente acompañan a personas con discapacidad a lo largo de su vida.

Tras la implementación de un proceso metodológico, se identificó a través del análisis y observación, incongruencias contrastantes entre dispositivos protésicos parciales utilizados en procesos de rehabilitación integrales, comprometiendo la efectividad del tratamiento hacia este tipo de afecciones.

Al definir el perfil de producto, estableciendo requerimientos y especificaciones con base en las necesidades del usuario, se diseñó una prótesis falángica de miembro superior que proporcione atención integral a la persona con amputación.

Validando el concepto por medio de una evaluación ergonómica respecto a percepciones y respuestas en el usuario, la investigación concluye que preconfigurar un dispositivo protésico considerando en su diseño, funciones estéticas (características y atributos objetuales como la forma, color, textura, etc.), y simbólicas, (significados y representación de identidad, personalidad, estilo, etc.) propician connotaciones positivas, opuestas a conceptos estigmatizantes asociados con la discapacidad; sugiriendo una mejora en la experiencia del usuario y dando la premisa hacia una aportación satisfactoria en cuanto a la aceptación y adaptación, tanto física como emocional, del individuo hacia la pérdida de un miembro corporal.

Palabras clave: Diseño industrial, discapacidad, dispositivo médico, prótesis.

Contenido

1. Introducción	1
Justificación	1
Descripción del problema	2
Hipótesis y objetivos	3
Hipótesis	3
Objetivos	3
Objetivo general.	3
Objetivos específicos	3
2. Revisión de la literatura	4
Anatomofisiología del cuerpo humano	4
Extremidades superiores	5
Manos	6
Falanges	7
Componentes de la salud	9
Discapacidad	10
Traumatismos	11
Amputación	12
Rehabilitación de personas con amputación	13
Diseño para la salud	16
Diseño industrial	16
Producto	17
La comunicación en los productos de diseño industrial	20
Diseño de dispositivos médicos	22
3. Metodología	26
Identificar	27
Analizar	27
Problemática.	27
Soluciones existentes	43

Definir	50
Observaciones.	50
Hallazgos	51
Problema	57
Idear	59
Sintetizar	59
Principios de diseño	59
Perfil de diseño de producto (PDP)	60
Especificaciones de diseño de producto (PDS)	63
Conceptualizar	66
Planteamiento	66
Desarrollo.	67
Propuesta.	77
Implementar	88
Evaluar	88
Validación	88
4. Resultados	94
Conclusiones	95
5. Referencias	96
Bibliografía	96

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Figuras

Figura 01.	Regiones anatómicas del cuerpo humano	4
Figura 02.	Huesos y articulaciones del miembro superior	5
Figura 03.	Motricidad en falanges de la mano	6
Figura 04.	Movimientos motrices de la mano	7
Figura 05.	Pinzas motrices finas	8
Figura 06.	Pinzas motrices gruesas	9
Figura 07.	Componentes de la salud y discapacidad.	10
Figura 08.	Principales causas de discapacidad	11
Figura 09.	Etapas de una lesión traumática	12
Figura 10.	Consecuencias de una lesión traumática	12
Figura 11.	Niveles de amputación	13
Figura 12.	Tratamiento de lesiones no intencionales.	14
Figura 13.	Tipos de prótesis	14
Figura 14.	Tratamiento de rehabilitación integral	15
Figura 15.	Procesos de diseño industrial	16
Figura 16.	Consideraciones de un producto	17
Figura 17.	Factores en productos de diseño industrial.	17
Figura 18.	Funciones de un producto	18
Figura 19.	Trinomio de la ergonomía.	18
Figura 20.	Jerarquía de factores ergonómicos y hedónicos.	19
Figura 21.	Tipos de connotaciones de los productos	21
Figura 22.	Comunicación de los productos de diseño	21
Figura 23.	Innovaciones en sector salud y áreas médicas	22
Figura 24.	Clasificación de dispositivos médicos	23
Figura 25.	Consideraciones del uso de dispositivos médicos	24
Figura 26.	Visibilidad de productos en diseño inclusivo	25
Figura 27.	Método de diseño	26
Figura 28.	Personas con discapacidad	27
Figura 29.	Principales causas de discapacidad en México	28
Figura 30.	Discapacidad motriz en miembro superior en México.	28
Figura 31.	Principales costos derivados de traumatismos	29
Figura 32.	Entrevista a experto: Salud en el trabajo.	31
Figura 33.	Entrevista a experto: Traumatismos en miembro superior. . .	32

Figura 34.	Principales causas de amputación en México	33
Figura 35.	Generalidades de amputaciones en México	34
Figura 36.	Personas con amputación en falanges de manos.	35
Figura 37.	Casos de amputación en falanges de manos	36
Figura 38.	Entrevista a experto: Terapia física	39
Figura 39.	Entrevista a experto: Dispositivos protésicos.	40
Figura 40.	Observación: POEMS	41
Figura 41.	Observación: POEMS	42
Figura 42.	Observación: POEMS	43
Figura 43.	Prótesis más antigua de la historia: 950 - 710 AC.	44
Figura 44.	Análisis de productos análogos	45
Figura 45.	Análisis de productos análogos	46
Figura 46.	Análisis de productos análogos	47
Figura 47.	Análisis de productos análogos	48
Figura 48.	Análisis de productos análogos	49
Figura 49.	Consecuencias de una amputación	50
Figura 50.	Incongruencia en el sistema: Brecha entre prótesis	51
Figura 51.	Observaciones y hallazgos: Carácter antropomórfico	52
Figura 52.	Observaciones y hallazgos: Contextualización de la oferta	53
Figura 53.	Observaciones y hallazgos: Manipulación por flexión	53
Figura 54.	Observaciones y hallazgos: Evento inesperado	54
Figura 55.	Observaciones y hallazgos: Conformación de identidad.	55
Figura 56.	Observaciones y hallazgos: Expresión de personalidad	55
Figura 57.	Observaciones y hallazgos: Partes corporales no íntimas.	56
Figura 58.	Observaciones y hallazgos: Desviación de la norma	56
Figura 59.	Problema	57
Figura 60.	Observaciones y hallazgos: Sentido de pertenencia	57
Figura 61.	Brief de diseño	58
Figura 62.	Principios de diseño	60
Figura 63.	PDP Función.	61
Figura 64.	PDP Estética.	61
Figura 65.	PDP Ergonomía.	61
Figura 66.	PDP Mercado	62
Figura 67.	PDP Producción	62
Figura 68.	PDS Función.	63

Figura 69.	PDS Producción	63
Figura 70.	PDS Estética	64
Figura 71.	PDS Ergonomía	64
Figura 72.	PDS Ergonomía: Antropometría I	64
Figura 73.	PDS Ergonomía: Antropometría II	65
Figura 74.	Fragmentación del problema y desarrollo de concepto	66
Figura 75.	Bocetos: Manos	67
Figura 76.	Bocetos: Manos con amputación en falanges	68
Figura 77.	Tablero de imágenes: Carácter formal de productos	69
Figura 78.	Bocetos: Función crítica	70
Figura 79.	Modelos: Función crítica	71
Figura 80.	Modelos: Función crítica	72
Figura 81.	Modelos: Estética y características formales del producto	72
Figura 82.	Bocetos: Estética y características formales del producto.	73
Figura 83.	Bocetos: Componentes y mecanismos	74
Figura 84.	Exploración de materiales: Piezas plásticas	75
Figura 85.	Exploración de materiales: Elásticos	75
Figura 86.	Exploración de materiales: Textiles	76
Figura 87.	Diseño final: Prótesis falángica	77
Figura 88.	Diseño final: Prótesis falángica	78
Figura 89.	Diseño final: Prótesis falángica	78
Figura 90.	Diseño final: Prótesis falángica	79
Figura 91.	Funcionamiento de la prótesis: Flexión y extensión.	80
Figura 92.	Componentes del dispositivo protésico	81
Figura 93.	Componentes del dispositivo protésico	82
Figura 94.	Componentes del dispositivo protésico	82
Figura 95.	Etapa pre-protésica: Dimensiones y datos del usuario.	83
Figura 96.	Etapa pre-protésica: Talla del dispositivo	83
Figura 97.	Etapa pre-protésica: Estética del dispositivo	84
Figura 98.	Etapa pre-protésica: Estética del dispositivo	84
Figura 99.	Etapa pre-protésica: Estética del dispositivo	85
Figura 100.	Dispositivo en contexto con el usuario.	85
Figura 101.	Dispositivo en contexto con el usuario.	86
Figura 102.	Campos semánticos	89
Figura 103.	Métrica de evaluación	89

Figura 104.	Formato de entrevista	90
Figura 105.	Análisis semántico de producto: Prótesis funcional.	91
Figura 106.	Análisis semántico de producto: Prótesis cosmética	92
Figura 107.	Análisis semántico de producto: Diseño final de prótesis . . .	93
Figura 108.	Resultados del experimento	94

Dirección General de Bibliotecas UAQ

1. Introducción

Justificación

La discapacidad refiere a situaciones negativas experimentadas entre una persona y el entorno en el que se desarrolla debido a un condicionamiento de salud que limita su participación. Las lesiones causadas por traumatismos son consideradas una enfermedad endémica y epidémica caracterizada por su velocidad y el efecto contraproducente de llevar a un individuo con un estado de salud óptimo a un estado condicionado por secuelas que pudieran ser permanentes y generar así un cierto grado de discapacidad (Neira & Bosque, 2011).

A nivel nacional, el número de personas discapacitadas por la carencia de algún miembro corporal ha pasado de 785, 000 en 2010 a 935,000 en 2014, solo en el año 2017 se registraron aproximadamente 27,000 (ANMM, 2016). El aumento de personas con esta condición también se ve reflejado en otros países, por ejemplo, en Estados Unidos en el 2005 vivían 1.6 millones de personas con la pérdida de alguna extremidad y estimaciones registraban el aumento a 2.2 millones de personas para el 2020 y 3.6 millones para el año 2050. Las amputaciones menores en extremidades superiores son un grave problema de salud pública que, aunque la prevalencia en la población infantil es considerable, la afectación a personas de edad adulta y económicamente activa es de gran magnitud, siendo uno de los principales motivos de incapacidad permanente (IMSS, 2017).

La prevención de lesiones traumáticas indica una necesaria atención, recuperación y adaptación a secuelas a través de tratamientos de rehabilitación apoyados por dispositivos protésicos. Sin embargo, los números indican que solo 1 de cada 10 personas llega a rehabilitarse, es decir, el uso de prótesis es poco frecuente (ANMM, 2016). Más allá de la problemática sobre disponibilidad y asequibilidad de los dispositivos médicos para amputaciones, el problema identificado denota la indiferente aportación del dispositivo a los factores psicológicos y sociales del proceso de rehabilitación que los individuos llevan a cabo.

Desde el diseño, la consideración de relaciones experimentadas por una persona y el uso de un objeto en un entorno determinado se plantea como una herramienta fundamental a través de valoraciones ergonómicas (brindar seguridad, funcionalidad y usabilidad) y hedónicas (promover una experiencia satisfactoria) (Hancock et al., 2005).

La visualización de un producto concebido a través de un proceso de diseño como un agente portador de mensajes que evocan funciones más allá de prácticas en el usuario justifica la capacidad resolutoria que la perspectiva de diseño industrial puede aportar al proponer dispositivos protésicos que consideren factores psicológicos y emocionales de personas que atraviesan un proceso de rehabilitación mediante las cualidades multifacéticas de un producto.

Descripción del problema

En la actualidad, en todo el mundo hay más de mil millones de personas con discapacidad, es decir, aproximadamente el 15% de la población presenta restricciones en la participación debido a limitaciones funcionales (OMS, 2011). Casi la mitad de este grupo de personas (46%) se ven afectadas por deficiencias corporales que implican problemas en su motricidad. Tanto en México como en Querétaro, aproximadamente un tercio de la población con discapacidad motriz experimenta limitaciones específicamente en extremidades superiores (INEGI, 2017).

Las lesiones intencionales y no intencionales generalmente denominadas traumatismos son la principal causa de amputación en miembro superior, promediando en los últimos cinco años en México alrededor de 2 130 amputaciones, siendo las menores las más comunes, es decir aquellas que afectan regiones anatómicas distales, como los dedos o parte de la mano (ANMM, 2016).

La rehabilitación integral basada en atender los factores físicos, psicológicos, sociales y laborales promueve idealmente la preparación, encuentro y adaptación hacia un dispositivo médico de carácter protésico que permita ayudar a las personas a reintegrarse en la sociedad. Sin embargo, se tiene evidencia de que las prótesis, (aunado a problemas de disponibilidad y asequibilidad en países en desarrollo), presentan limitaciones para atender una necesidad sanitaria de rehabilitación.

Caracterizados por una segmentación polarizada entre funcionales y cosméticas, las prótesis se centran en el factor físico de la rehabilitación. Como su nombre lo indica, las prótesis funcionales atienden afecciones fisiológicas del individuo, mientras que las cosméticas simulan las regiones anatómicas perdidas.

Considerando que la pérdida parcial o total de una extremidad, principalmente a causa de traumatismos, representa un daño emocional importante, los productos existentes condicionan la rehabilitación integral del individuo ya que se limitan a un nivel de atención física dejando en plano secundario factores psicológicos y sociales que repercuten la adaptación adecuada hacia el producto externo que sustituirá una parte de su cuerpo.

Hipótesis y objetivos

Hipótesis

Considerando las funciones estéticas y simbólicas en el diseño de una prótesis falángica de miembro superior se mejorará la experiencia del usuario.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar una prótesis falángica de miembro superior considerando las funciones estéticas y simbólicas del dispositivo para mejorar la experiencia del usuario.

Objetivos específicos

- Identificar la información pertinente para la generación de conocimiento sobre el tema de estudio.
- Basado en el análisis, identificar incongruencias dentro del sistema y definir el problema a resolver.
- Proponer principios de diseño que guíen la construcción del perfil y especificación de diseño como respuesta al problema definido.
- A partir de planteamientos y referencias, idear soluciones factibles, viables y deseables mediante la exploración, selección y desarrollo de un concepto de diseño.
- Comunicar la propuesta de diseño a través de un prototipo del carácter según sea requerido que permita su evaluación y validación.
- Evaluar la propuesta de diseño a través de simulaciones con prototipos y escenarios que determinen el cumplimiento del perfil y especificaciones de diseño establecidos.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

2. Revisión de la literatura

En este capítulo se expondrán los conceptos y términos correspondientes para facilitar el entendimiento y comprensión del tema a estudiar en el presente trabajo de investigación.

Anatomofisiología del cuerpo humano

Desde una perspectiva anatómica, el cuerpo humano se divide en ciertas regiones identificadas y nombradas respecto a la posición convencional del ser humano, es decir, la bipedestación, posición vertical con los pies apoyados sobre el piso.

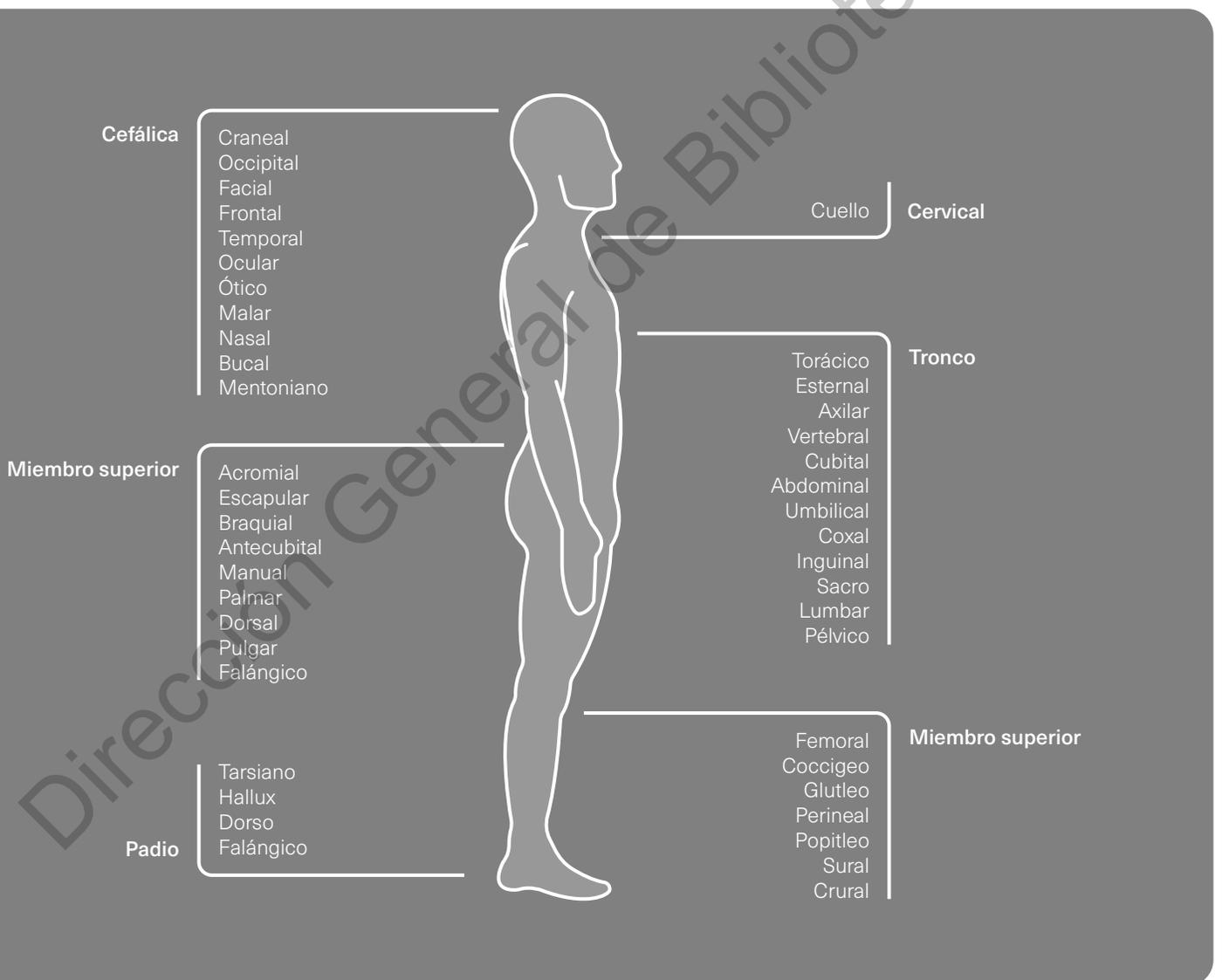


Fig 1. Regiones anatómicas del cuerpo humano [Elaboración propia (Tortora & Derrickson, 2013)]

Las regiones cefálicas, cervical, tronco y miembros superiores e inferiores son las principales regiones anatómicas en las que se divide el cuerpo humano (Tortora & Derrickson, 2013).

Extremidades superiores

Se conoce como miembro superior o torácico a cada una de las extremidades sujetas a la parte superior del tronco, caracterizadas por su movilidad y capacidad de manipulación, las extremidades superiores se componen por la cintura escapular, el brazo, el antebrazo, la muñeca y la mano. Estudiando esta región corporal a partir de su sistema óseo, cada miembro superior alberga 32 huesos distribuidos en las 5 regiones mencionadas anteriormente (Rohen *et al.*, 2013).

La adopción de una posición bípeda ha permitido el desarrollo motriz del miembro superior en la especie humana. La cintura escapular se encuentra unida al tórax

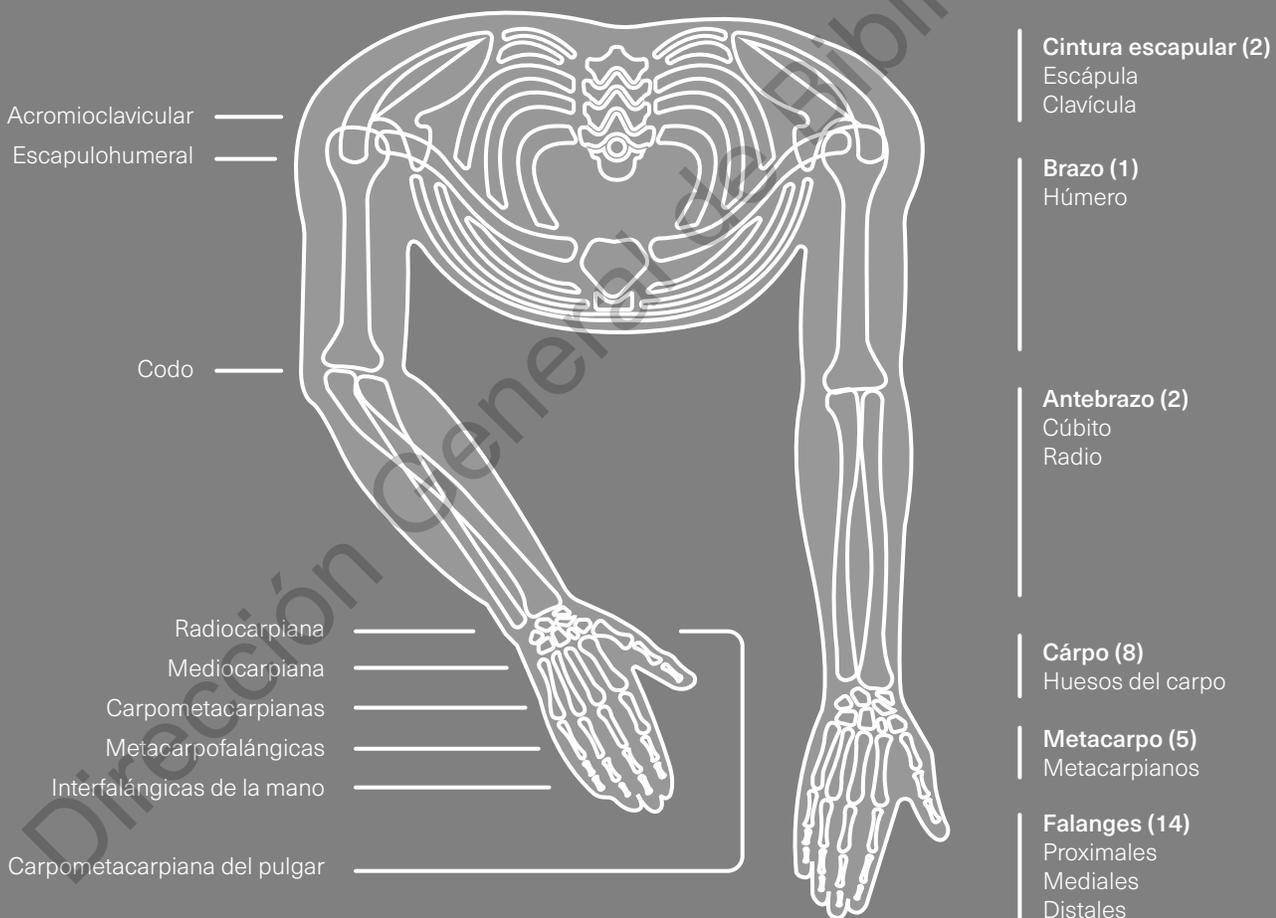


Fig 2. Huesos y articulaciones del miembro superior [Elaboración propia (Rohen *et al.*, 2011)]

por medio de una sola articulación que le provee un grado alto de libertad a toda la extremidad. De igual manera, los movimientos de pronación y supinación del antebrazo le permiten una gran rotación para realizar actividades motrices complejas.

Manos

Ubicadas en la parte distal de las extremidades torácicas y conformadas desde la muñeca por una superficie palmar, dorsal y cinco dedos o falanges, las manos son de las estructuras más complejas del cuerpo humano y, después del cerebro, es la región anatómica que más ha evolucionado. (Rocha, *et al.*, 2012). Específicamente las manos contienen tres grupos de huesos; *los del carpo*, *metacarpianos* y *falanges*. Este conjunto de huesos, además de músculos, articulaciones y nervios conforman el principal instrumento para la interacción entre el ser humano y su entorno, no solamente como herramientas para actividades físicas, sino también cumplen tareas expresivas y de comunicación.

Pulgar

Primera articulación carpometacarpiana y metacarpofalángica



Índice, medio, anular y meñique

Articulaciones metacarpofalángicas e interfalángicas proximales y distales

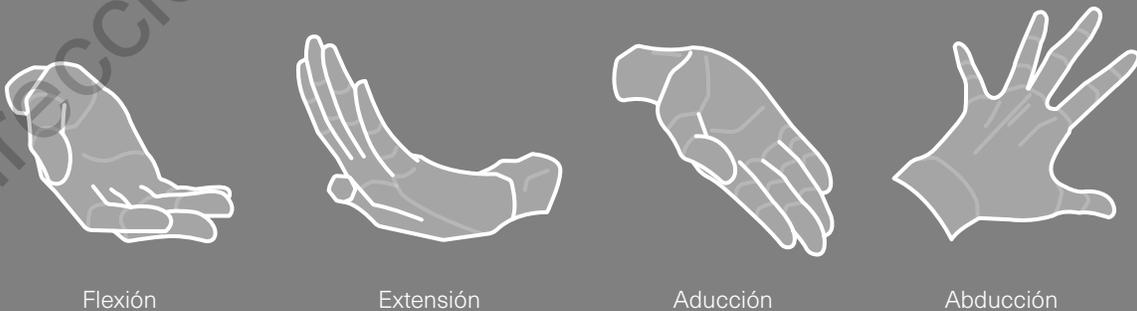


Fig 3. Motricidad en falanges de la mano [Elaboración propia (Biel, 2009)]

Falanges

La complejidad de las manos humanas en gran medida se debe a las particularidades de sus falanges. La articulación carpometacarpiana de la primera falange o dedo pulgar permite una amplia movilidad y logra su oposición con las demás falanges de la mano. Dicha característica anatómica es compartida con algunos primates como el chimpancé, orangután o gorila, sin embargo, la particularidad presente en la especie humana radica en la separación existente entre el músculo flexor largo del pulgar y el flexor profundo de los dedos, resultando en una movilidad independiente para cada falange de la mano (Biel, 2009). De esta manera es que la mano se convierte en un instrumento único y capaz de ejercer tanto movimientos prensiles y no prensiles de gran fuerza y precisión según se requiera.

No prensiles

Sujeción de objetos sin pinza



Prensiles

Sujeción de objeto con pinza



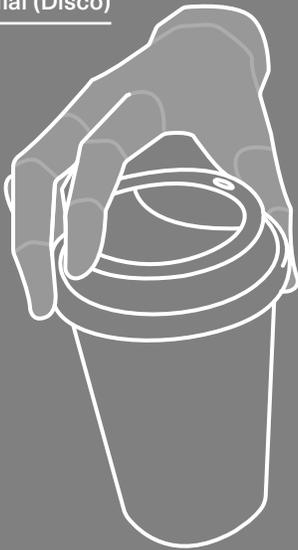
Fig 4. Movimientos motrices de la mano [Elaboración propia (Chuvacastillo, 2016)]

Específicamente, el pulpejo de las huellas digitales son las zonas con más terminaciones nerviosas del cuerpo humano, de tal forma que son la fuente más importante de información táctil sobre el entorno (Osnaya *et al.*, 2014).

Cada dedo de la mano tiene tres falanges (proximal, media y distal), a excepción del dedo pulgar ya que este solo cuenta con las falanges media y distal. La compleja organización anatómica y funcional de la mano converge en la prensión. Los patrones de función prensil o mejor conocidos como pinzas motrices son movimientos en los que se agarra un objeto y éste se mantiene en parte o de forma completa dentro de la superficie de la mano (Arias, 2012).

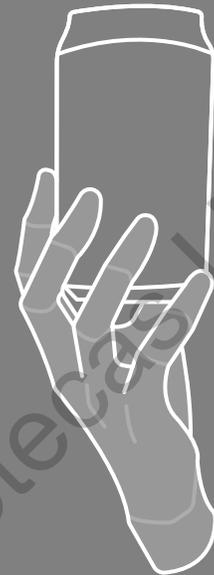
Se reconocen dos principales tipos de pinzas motrices, la *fina* que consiste en la coordinación de las funciones neurológicas, esqueléticas y musculares utilizadas para producir movimientos precisos, y la *gruesa* en donde los movimientos son globales y amplios, es decir, no requieren de mucha precisión, pero ayudan en dominio corporal dinámico (Chuvacastillo, 2016).

Radial (Disco)



Pulgar + 3 Dedos

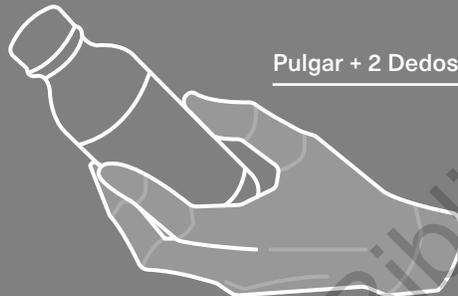
Radial (Esfera o cilindro)



Pulgar + 2 Dedos



Pulgar + 4 Dedos



Pulgar + 1 Dedo



Trípode



Fig 5. Pinzas motrices finas (IEEE Transactions on Robotics and automation, 1989)]

Las pinzas motrices finas enfatizan la destreza y sensibilidad con las que podemos relacionarnos con el medio. Es así como podemos sostener de manera precisa objetos tanto radiales como prismáticos con las partes distales de los dedos.

En contraste, las pinzas motrices gruesas se enfocan en la fuerza con las que sostenemos las cosas. Al colocar toda o gran parte de las falanges auxiliadas de la zona palmar de la mano logramos ejecutar movimientos seguros y estables.



Fig 6. Pinzas motrices gruesas (IEEE Transactions on Robotics and automation, 1989)]

Componentes de la salud

Dentro de la "familia" de clasificaciones desarrolladas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) se ubica la Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud (CIF), elaborada para proveer un lenguaje

estandarizado que auxilie en el entendimiento de los estados relacionados a la salud de las personas, misma que acota el término “salud” como aquel “estado de completo bienestar físico, mental y social, y no solamente la ausencia de afecciones o enfermedades” (OMS, 1948). A su vez, la Clasificación Estadística Internacional de Enfermedades y Problemas Relacionados con la Salud (CIE-10) proporciona igualmente información sobre estados de salud, pero desde una perspectiva etiológica. Dichas clasificaciones del “funcionamiento” y “diagnóstico” respectivamente, sugieren una visión con mayor peso y significado que exponen los “componentes de la salud” como constituyentes principales de un estado óptimo de las personas y no desde las enfermedades (OMS, 2001).

Discapacidad

Dentro del marco conceptual de la CIF los componentes de la salud se dividen en dos grupos: *funcionamiento* y *discapacidad*, y *factores contextuales* que a su vez se subdividen en otras dos categorías. El primer grupo, los componentes de funcionamiento y discapacidad, señalan aspectos libres de problemáticas bajo el concepto genérico de funcionamiento, tanto a nivel fisiológico en sistemas, como anatómico en estructuras. Por el contrario, dentro de este componente también se describen aspectos negativos englobados en el término de *discapacidad*, es decir “deficiencias, limitaciones en la actividad o restricciones a la participación” (OMS, 2001). Dicha definición entiende como deficiencias a los problemas en funciones o estructuras corporales que representan una desviación de la “norma” establecida como el estado biomédico del cuerpo humano, es preciso puntualizar que las deficiencias pueden derivar en otras deficiencias; por ejemplo, la pérdida de una extremidad puede causar una deficiencia en las funciones motrices de la persona. Las limitaciones en la actividad se comprenden como dificultades de un individuo al momento de realizar actividades y por último las restricciones a la participación son los problemas de un individuo al involucrarse en su contexto (OMS, 2001).

La definición establecida de discapacidad demuestra la interacción existente entre una condición de salud (enfermedades, lesiones, trastornos, etc.), sus implicaciones en actividades, y la participación de la persona, es decir, los *factores contextuales* que representan la vida de un individuo donde se incluyen ambientales y personales. Los primeros “constituyen el ambiente físico, social y actitudinal en el que las personas viven y conducen sus vidas” (OMS, 2001, p.11) mientras que los personales son las características del individuo.

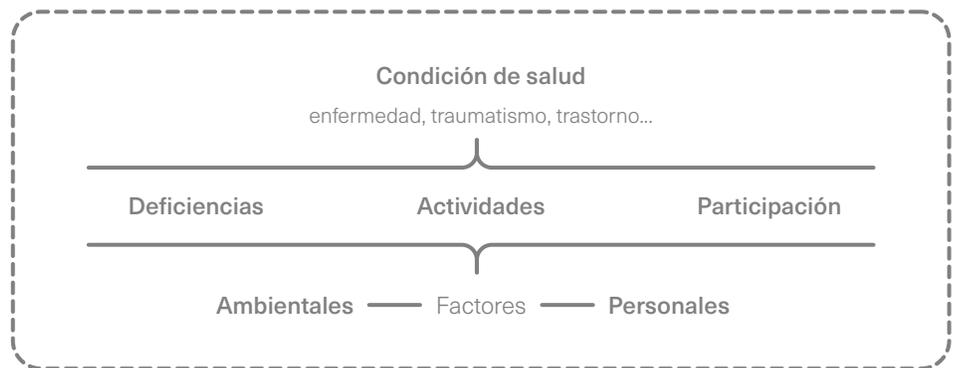


Fig 7. Componentes de la salud y discapacidad [Elaboración propia (OMS, 2001)]

La definición y categorización anterior auxilia a describir la situación de cada persona dentro de una serie de componentes relacionados con la salud inmerso en un contexto donde influyen tanto factores ambientales como personales, es decir, el individuo no es la unidad de clasificación, sino que es parte de un sistema que condiciona su salud y bienestar a distintos niveles.

Si bien es cierto que la tipificación de discapacidad podría reducir este término a meramente problemas de funciones y estructuras corporales, diversas instituciones entre ellas el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) clasifican esta condición como parte de una codificación al captar información sobre la salud de las personas de una región geográfica, misma que dividió dichas deficiencias en cinco principales grupos: sensoriales y de comunicación, motrices, mentales y múltiples.



Fig 8. Principales causas de discapacidad [Elaboración propia (OMS, 2011)]

La discapacidad forma parte de las personas a lo largo de las diferentes etapas de su vida y por lo tanto, desde una perspectiva etiológica, las principales causas de discapacidad se pueden dividir en dos grandes grupos, el primero, referido a dos momentos naturales de la vida, es decir nacer y envejecer, mientras que el segundo, se conforma por afecciones a nuestro organismo, mejor conocidas como enfermedades. Es preciso señalar que los traumatismos, si bien son una enfermedad, se les asigna un lugar aparte debido a la gran prevalencia que aporta como causante de discapacidad en las personas.

Traumatismos

La palabra trauma proviene del griego que puede ser traducida como "herida". Dentro de la clasificación de enfermedades para propósitos epidemiológicos generales se cataloga el traumatismo o trauma como una enfermedad causada por energías externas cuyas manifestaciones pueden ser progresivas, regresivas o estáticas, de esta forma las deficiencias causadas en el individuo pueden ser de carácter temporal o permanente. Se entiende por trauma al daño intencional (violencia) o no intencional (accidente) causado al organismo por su brusca exposición a fuentes de energía que sobrepasan su margen de tolerancia y que se caracterizan por el tiempo de latencia casi instantáneo en el cual, una persona pasa de un estado óptimo de salud a presentar alguna deficiencia que, generalmente, causa secuelas en el individuo (Neira & Bosque, 2011).

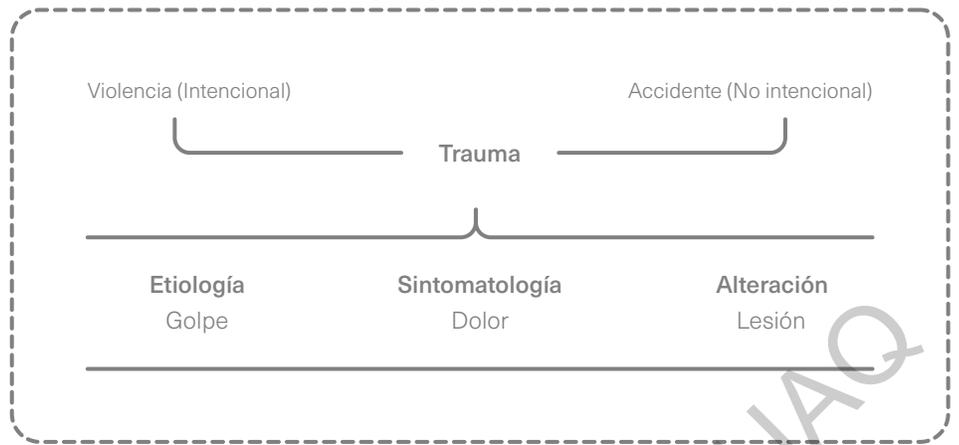


Fig 9. Etapas de una lesión traumática [Elaboración propia (Neira & Bosque, 2011)]

Los traumatismos comúnmente afectan a tejidos blandos repercutiendo en el sistema musculo esquelético donde pueden identificarse dos tipos de heridas, las cerradas (sin irrupción en la piel) y las abiertas (irrupción en la piel), estas últimas incrementan las secuelas causadas a las personas ya que pueden ir desde hemorragias hasta pérdidas totales de tejidos del cuerpo (ANMM, 2014).

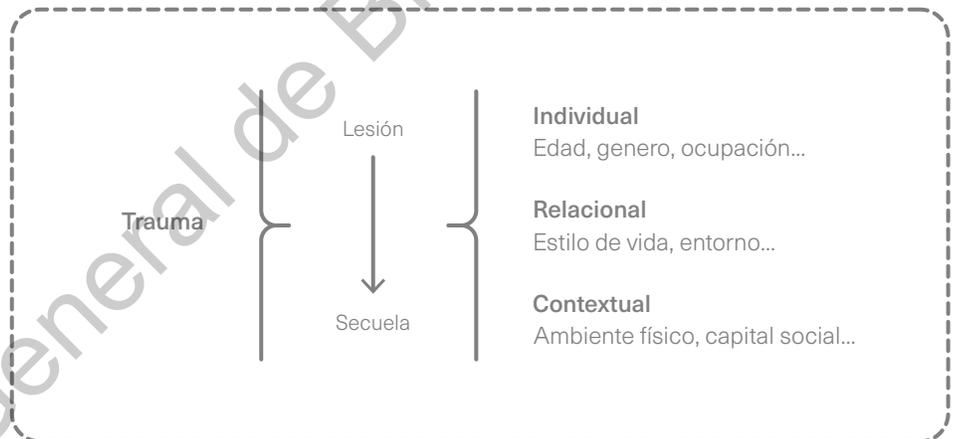


Fig 10. Consecuencias de una lesión traumática [Elaboración propia (ANMM, 2014)]

Amputación

Dentro de las condicionantes de salud traumáticas que afectan el sistema musculo esquelético se encuentra las amputaciones de extremidades, estas pueden definirse como la pérdida de una parte del cuerpo resultado de una lesión intencional o no intencional. Es una de las lesiones que más daño genera a los individuos debido a las afectaciones generadas tanto físicamente, debido a la extirpación de un miembro y la pérdida de capacidades motrices que esto conlleva, como psicológicamente por dañar la imagen y seguridad de las personas (González & Rodríguez, 2001).

Una amputación se puede categorizar dependiendo su ubicación en el cuerpo tomando como base una posición anatómica convencional. La zona específica

donde la herida se formó es denominada muñón, porción comprendida desde la superficie de sección y la articulación próxima cuya forma cónica es la ideal (Centro Nacional de Rehabilitación, 2016).

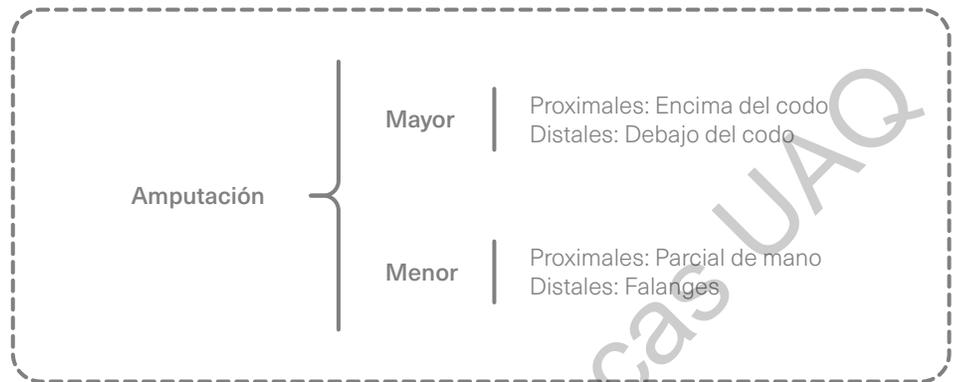


Fig 11. Niveles de amputación [Elaboración propia (ANMM, 2016)]

La discapacidad que acarrea una persona después de sufrir una amputación dependerá de la ubicación de la lesión, la causa de esta y los factores tanto sociales como económicos que lo rodeen. La pérdida de prensión y tenaza son los principales motivos de que la persona se vuelva discapacitado ya que condiciona su participación en la mayoría de las actividades que una persona realiza diariamente.

Rehabilitación de personas con amputación

El tratamiento que reciben pacientes con algún tipo de amputación es planteado desde una perspectiva preventiva, en primera instancia se promueve evitar las lesiones en lugares de mayor riesgo, posteriormente atender de forma inmediata al individuo y finalmente la recuperación, curación y adaptación a secuelas permanentes derivadas del traumatismo. Es fundamental un debido tratamiento de rehabilitación para prevenir el grado de discapacidad generado por las secuelas de una amputación (ANMM, 2014).

La OMS define la rehabilitación como una “serie de intervenciones concebidas para reducir la discapacidad y optimizar el funcionamiento de las personas que presentan condiciones de salud cuando interactúan con su ambiente” (OMS, 2017) cuyos principales actores son el paciente, quien presenta la condicionante de salud, su familia y el equipo médico a cargo del tratamiento. La rehabilitación no solo se compone de técnicas restauradoras de la salud, es una filosofía y responsabilidad de todos los involucrados.

Las lesiones que resultan en la pérdida total o parcial de un miembro del cuerpo generan secuelas permanentes, las cuales deben ser sometidas a un proceso de rehabilitación frecuentemente auxiliado por dispositivos protésicos como alternativa para el remplazo de las regiones anatómicas perdidas. Se entiende como prótesis o dispositivo protésico aquel dispositivo médico de aplicación externa usado para reemplazar total o parcialmente una parte de un miembro ausente o deficiente (OMS, 2017). Cuando se presenta una amputación debe

buscarse conservar la máxima longitud posible del miembro que sufrió dicho corte, ya que mientras más proximal sea la herida, las funciones que el dispositivo protésico deberá cumplir serán más complejas.



Fig 12. Tratamiento de lesiones no intencionales [Elaboración propia (ANMM, 2014)]

Las prótesis tienen distintos propósitos según sea la necesidad específica que se quiera tratar en el proceso de rehabilitación. Los dos principales objetivos son mejorar la movilidad del individuo, es decir apoyar el funcionamiento y por otra parte restaurar la apariencia de cuerpo.

Existen distintas alternativas respecto a prótesis que se categorizan de acuerdo con la naturaleza del funcionamiento del mismo dispositivo médico. Para personas con amputación en miembro superior, se identifican dos grupos, el primero de ellos son los elementos pasivos, carentes de movimiento, mientras que el segundo son los funcionales, dispositivos motorizados por el cuerpo de la persona, energía eléctrica o una combinación de ambas (Consejo Interterritorial del Sistema Nacional de Salud, 2011). A su vez, la oferta de dispositivos protésicos se puede clasificar dependiendo el tipo de ayuda que proveerá al paciente, pudiendo ser enfocado a la motricidad o a la imagen del individuo.

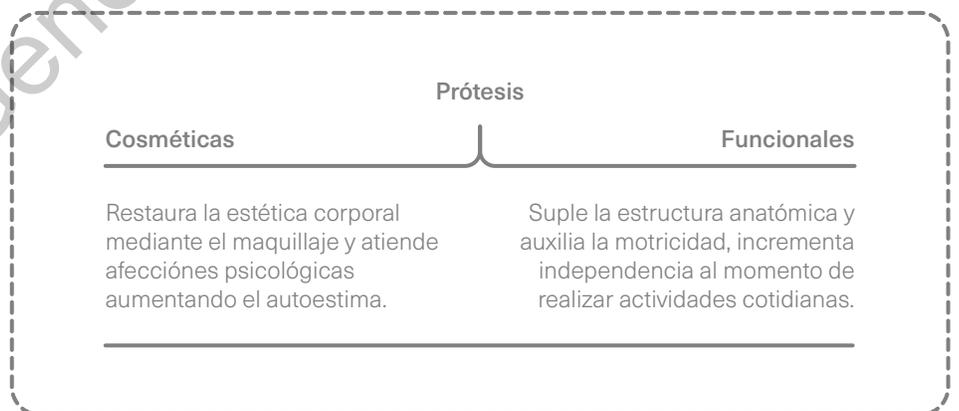


Fig 13. Tipos de prótesis [Elaboración propia (Consejo Interterritorial del Sistema Nacional de Salud, 2011)]

El tratamiento para la rehabilitación de una amputación basado en un dispositivo médico denominado "prótesis" se conforma de tres etapas en donde participan hasta cinco áreas médicas: traumatología y ortopedia, prótesis y órtesis, fisioterapia, nutrición y psicología (López, 2009). El objetivo es lograr una adaptación física, psicológica, social y laboral a las secuelas de la lesión.

Etapa pre-protésica

Revisión clínica sobre el estado de salud en general del paciente en donde se le da a conocer el proceso que seguirá y evaluando inicialmente si la persona es candidata para la utilización de una prótesis.

En esta etapa se inicia el historial clínico que será de utilidad durante todo el tratamiento. Se trabajan los cuidados posturales, enseñanza sobre vendajes específicos y se llevan a cabo terapias para aprender las habilidades del muñón; para generar en él la máxima funcionalidad articular, de igual forma inician las sesiones con psicología para conocer los objetivos del amputado incluyendo perspectivas personales o laborales a futuro.

Se considera que el discapacitado es apto para recibir su prótesis cuando el proceso de aceptación ha terminado y se alcanza la estabilidad física, es decir que el muñón no representa dolor y este tiene forma cónica apta para recibir una prótesis.

Etapa protésica

El médico rehabilitador realizará la prescripción protésica considerando el nivel de amputación y condiciones del muñón para posteriormente pasar a la fabricación de la prótesis. Es importante la comodidad y satisfacción del paciente; se continúa con terapias físicas para condicionamiento físico en general y trabajar en la adaptación. Se explica el nivel funcional que puede llegar a adquirir, limitaciones, cuidados a seguir. La decisión final del tipo de prótesis debe ser consensuada con el paciente para la fabricación de un aparato confortable que permita la funcionalidad prevista.

Etapa pos-protésica

Se hace entrega del dispositivo al paciente y se realizan las revisiones de la prótesis para comprobar el confort y funcionamiento en todos sus elementos. Dan inicio los entrenamientos en terapia ocupacional para asegurar que la adaptación sea adecuada y se trabaja con el dispositivo para que el paciente puede controlarlo y dominarlo con el objetivo de incorporarlo de nuevo a la vida social y productiva.

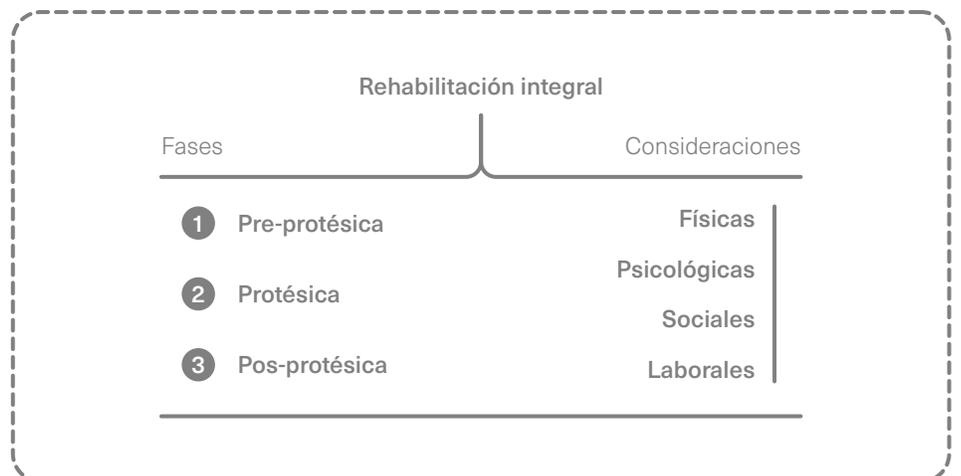


Fig 14. Tratamiento de rehabilitación integral [Elaboración propia (ANMM, 2016)]

Diseño para la salud

Desde una perspectiva etimológica, diseñar se traduce como “*designar*”, acción de asignar un nombre a algo en particular. John Heskett (2005), escritor y profesor británico, definió al diseño como aquella “capacidad humana para modificar y dar forma a nuestro entorno en vías de satisfacer nuestras necesidades y darles significado a nuestras vidas”.

La palabra diseño se incorporó por primera vez al idioma inglés como verbo, es decir, la acción de concebir un plan con un propósito específico, sin embargo, a través del tiempo el concepto ha adquirido una amplia variedad de significados que incluyen un concepto, estrategia o resultado (Manzini, 2015). Partiendo de la creatividad como una característica fundamental de los seres humanos, el diseño plantea la concepción y realización con el motivo de aportación en la búsqueda del cumplimiento de objetivos tanto individuales como colectivos (Buchanan, 2001).

La práctica del diseño se remonta a nuestros orígenes y puede entenderse como aquel atributo que nos ha convertido en lo que somos actualmente. Posteriormente, el diseño fue tomando forma a partir de ser ubicado en el campo laboral como una profesión de servicio centrada en atender diferentes necesidades humanas, con ello comenzaron a aparecer distintas disciplinas enfocadas a diferentes temas u objetos.

Diseño industrial

Dada la amplitud que presenta el término “diseño”, es a través de vocablos específicos como se describe su terreno de acción. Específicamente, diseño industrial se entiende como el “*proceso estratégico de resolución de problemas, impulsado a través de la innovación y trabajo transdisciplinar, que propone mejorar la calidad de vida de las personas a través de productos, sistemas, servicios o experiencias*” según el *International Council of Societies of Industrial Design* (ICSID), actualmente *World Design Organization* (WDO). Esta disciplina ubica al ser humano en el centro del proceso con el objetivo de comprender profundamente sus necesidades, logrando reformular problemas en oportunidades de soluciones social, ambiental y económicamente competitivas.

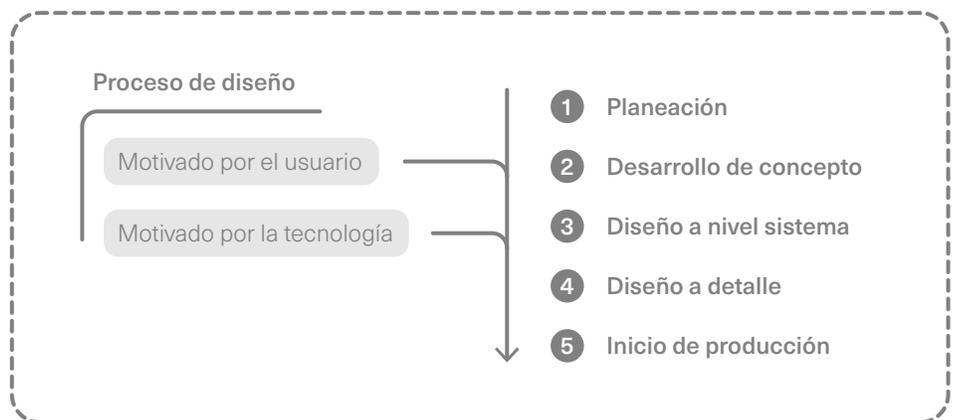


Fig 15. Procesos de diseño industrial [Elaboración propia (Ulrich & Eppinger, 2013)]

Producto

El diseño industrial es la actividad inventiva que determina las cualidades multifacéticas de una solución propuesta a un problema específico (Rodríguez, 1985). Dichas cualidades multifacéticas, encajan con el concepto de *producto*, el cual es desarrollado a través de un proceso de diseño.

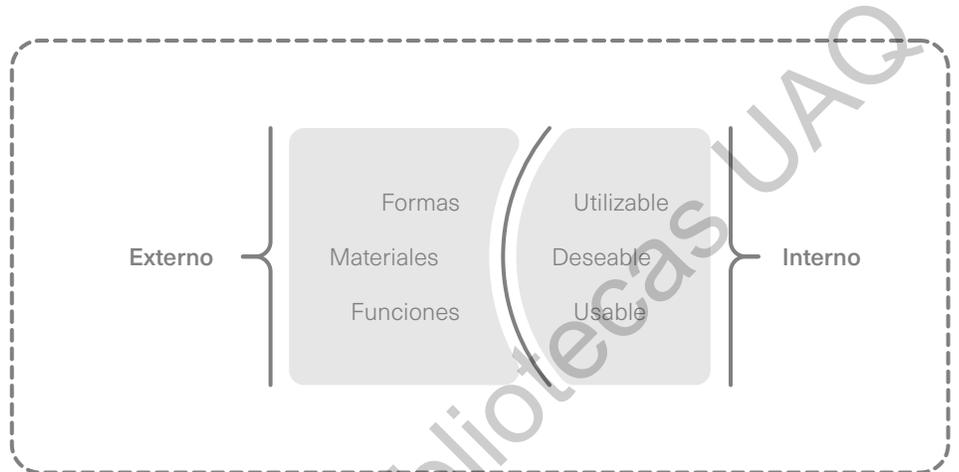


Fig 16. Consideraciones de un producto [Elaboración propia (Buchanan, 1999)]

Puede definirse como “producto” aquel resultado final concebido a través de un proceso de diseño. El producto está presente en la vida de cada persona tanto social como culturalmente y está definido según el punto de vista en que sea analizado, ya sea de manera interna o externa. De forma interna los productos deben ser utilizables (desempeñar correctamente su función), usables (adaptarse tanto física como emocionalmente a los usuarios) y por último deseables (comunicar y crear una identidad con los usuarios).

La conceptualización, ideación e implementación de un producto se desarrolla mediante diferentes métodos de diseño que consideran cuatro factores relevantes: función, ergonomía, estética y producción o manufactura.

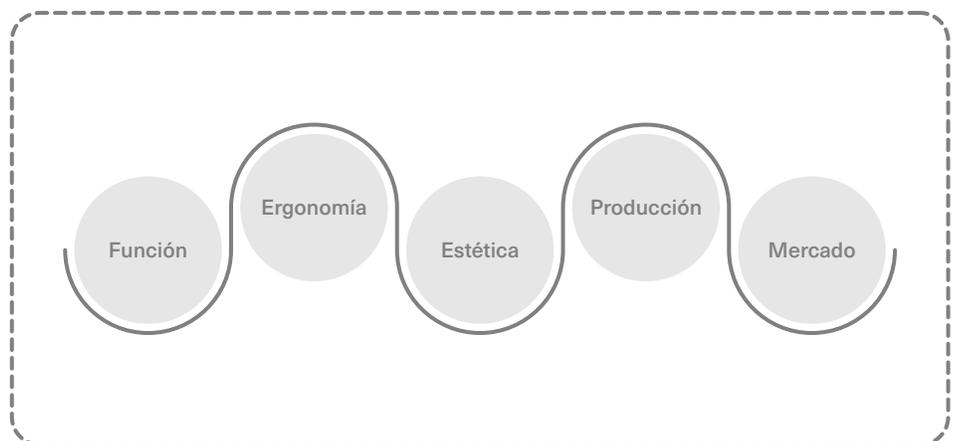


Fig 17. Factores en productos de diseño industrial [Elaboración propia (Fernández Barba, 2014)]

Función

Se entiende como función a aquella “finalidad útil o servicio que presta el producto” (Fernández et al., 2015, p.126). El uso de un producto de diseño industrial es definido a partir del proceso de diseño, sin embargo, el usuario no solo hace uso, sino que determina las funciones de este. Se pueden destacar tres principales funciones de un objeto, función práctica, aquella que cumple el objeto en relación con el cumplimiento de una tarea específica, función estética, asociada directamente a la apariencia del objeto y principal causa del proceso de percepción que genera en el usuario, y función simbólica, delimitada por aspectos emocionales del usuario, tanto psicológicos, sociales y culturales del uso (Löbach, 1981).



Fig 18. Funciones de un producto [Elaboración propia (Löbach, 1981)]

Ergonomía

Se entiende como “el estudio de las relaciones que se establecen recíprocamente entre el usuario y los objetos de uso al desempeñar una actividad cualquiera en un entorno definido” (Flores, 2001, p.25). La ergonomía busca lograr dicho objetivo a través del conocimiento y consideración del trinomio de factores que facilitan su estudio. Factor humano, el estudio de personas desde la perspectiva anatomofisiológica, antropométrica, psicológica y sociocultural, factor ambiental, el análisis de características en un espacio físico definido, tanto naturales como artificiales, y por último factor objetual, la configuración formal de los objetos.

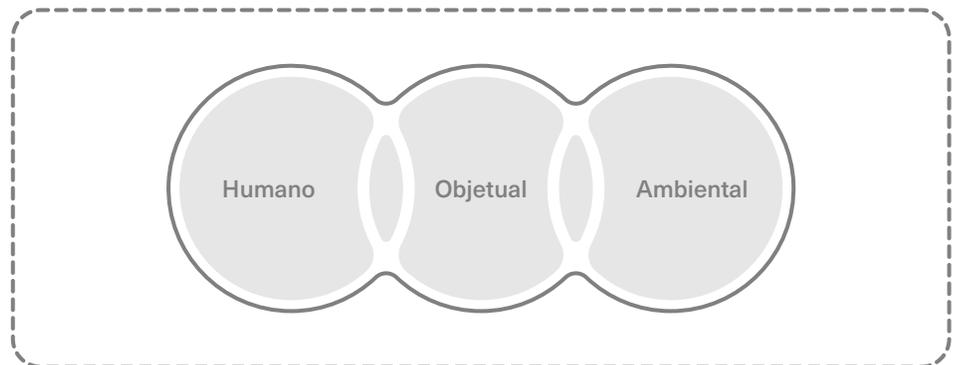


Fig 19. Trinomio de la ergonomía [Elaboración propia (Flores, 2001)]

Un producto no solo cumple su función crítica, sino que también representa un impacto en factores humanos y culturales del usuario. El término *usabilidad* es definido por la ISO 9241 (2018) como la “medida en que un producto, sistema, o servicio puede ser utilizado por usuarios determinados para lograr objetivos específicos con efectividad, eficiencia y satisfacción en un contexto de uso particular”. Considerar el grado de usabilidad en un producto tiene un rol importante dentro de proceso de diseño, sin embargo, según Buchanan (2001), aunado a las variables ergonómicas requeridas, para lograr un diseño centrado en las personas, este debe promover y asegurar la dignidad para los usuarios sin importar la circunstancia social, económica o cultural en que se encuentren.

En los últimos años los factores ergonómicos en un producto han pasado de solo considerar elementos referentes a usabilidad desde perspectivas funcionales a incluir la perspectiva experiencial. La *experiencia del usuario* es definida por la ISO 9241 (2019) como las percepciones y respuestas del usuario, incluyendo cuestiones estéticas y simbólicas, que ocurren antes, durante y después del uso de un producto.

Evaluar la usabilidad de un producto se basa en simular la interacción entre usuario-producto bajo condiciones controladas. La amplitud del término usabilidad requiere que se determinen los elementos a analizar dependiendo el producto o sistema que se esté evaluando. Mientras que los atributos como eficiencia y efectividad de un producto se consideran cualidades objetivas, la satisfacción es considerada una clase subjetiva. En consecuencia, las herramientas utilizadas para evaluar dependerán de las variables cuantitativas o cualitativas que se obtendrán en el estudio (Sonderegger & Sauer, 2010).

Derivada de la concepción piramidal de necesidades humanas propuesta por Maslow, se propone una jerarquía de *factores ergonómicos y hedónicos*. Los primeros concentrados en la seguridad, funcionalidad y usabilidad, posteriormente, cuando estos tres niveles están resueltos, los factores hedónicos buscan llenar las necesidades tanto psicológicas como sociológicas inherentes a una persona, el pertenecer y ser tanto competente como independiente resulta en una experiencia placentera (Hancock, *et al.*, 2005).

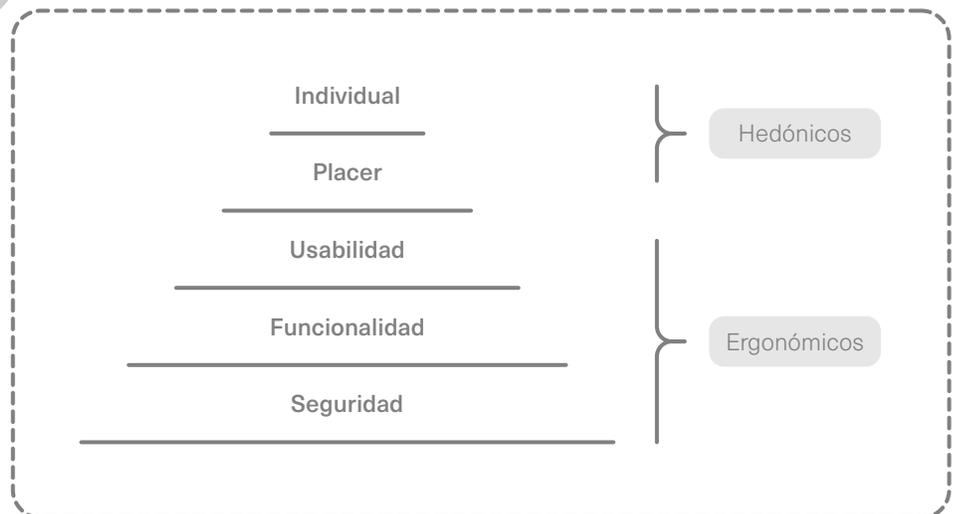


Fig 20. Jerarquía de factores ergonómicos y hedónicos [Elaboración propia (Hancock, Pepe & Murphy, 2005)]

Estética

“Profundamente implicada en nuestras vidas como seres racionales, constituye un acto mental más que una propiedad de los objetos o una forma de placer físico.” (Scruton, 2007, p.238). Estético es aquello que nos brinda placer de algún tipo indeterminado. La comunicación estética se entiende como el proceso por el cual se transmiten mensajes hacia los usuarios quienes son los receptores del mensaje inherente al producto de diseño industrial.

Producción

Se refiere a los “procesos de manufactura que están directamente relacionados con las necesidades del usuario, los recursos del productor y el tiempo disponible para llevar un producto al mercado” (Cuffaro, *et al.*, 2013, p.30). Asegurar una alta calidad en el producto mediante la reducción mínima del costo de su manufactura, en gran medida, representa la principal causa de un diseño económicamente exitoso.

Mercado

Consideraciones inherentes al producto a desarrollar, que parten del usuario, tanto directo, el que lo usará, como indirecto, el que lo comprará. Dentro de este mismo factor se analizan los productos análogos, aquellos que ofrece la competencia y que pudieran ser optimizados ya sea respecto a su función, atributos o precio de venta al público (Fernández Barba, 2004).

La comunicación en los productos de diseño industrial

Los productos no hacen referencia únicamente a un objeto u artefacto físico, sino que también representan una oferta de experiencias. Citando a Buchanan (2001) respecto al significado de un producto, “el ensamblaje de materiales permite al ser humano convertirlo en una experiencia personal. El artefacto físico es solamente el portador de un producto intangible con mayor valor” (p. 22).

La actividad proyectual del diseñador recae en satisfacer necesidades y/o deseos mediante la configuración de un objeto, convirtiéndolo de una mera herramienta utilitaria a un objeto cargado de mensajes capaces de construir significados e identidades en los usuarios. Los productos entonces se convierten en signos, revestidos de marcas, expanden sus capacidades y habilidades, hablando por sí solos y por la persona que los usa. El factor estético de los productos juega un papel fundamental en este proceso, como percibimos el objeto, y a su vez como este estimula nuestros sentidos. El producto entonces es más que un elemento tangible, es un signo (González Ochoa & Torres Maya, 2012).

Según Charles William Morris la semiótica estudia, “no solamente los signos y su naturaleza, sino que también, la función del signo como instaurador de sentido y facilitador de relaciones comunicativas, es decir como configurador de la cultura”. Los productos, resultado de un proceso y desarrollo de diseño, al estar dentro de cierto contexto real, se convierten en signos, capaces de comunicar.

Al ser identificados como tal, se puede inferir que los productos arrojan significados. En primer plano, los productos denotan su función y uso, qué es y para qué sirve.

Posteriormente, con mayor peso subjetivo y personal, los productos emiten ciertas connotaciones en un segundo plano. Evocan significados, valores estéticos y simbólicos en los usuarios. A su vez existen diferentes tipos de connotación, ya que dependiendo del contexto en el que el usuario se encuentre, el producto evocará distintos significados (Fernández, *et al.* 2015).

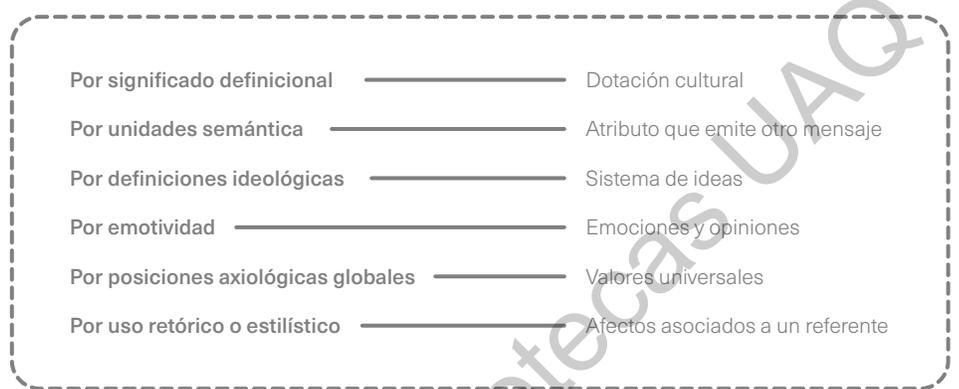


Fig 21. Tipos de connotaciones de los productos [Elaboración propia (Fernández, Llorente & Fadruga, 2015)]

Analizar la comunicación de los productos de diseño, el mensaje que contienen, transportan y entregan al usuario, se puede evaluar por medio del significado que el objeto tiene para con el usuario. Las connotaciones que el objeto evoque pueden ser expresadas mediante grupos de palabras o campos semánticos que a su vez pueden usarse para determinar el significado de un producto. Desde ese punto se pueden derivar más estudios como el diferencial semántico, el cual muestra, mediante ciertas escalas establecidas, la fuerza de la connotación que el objeto permea en el usuario (Costa Lopes & Renato, 2018).

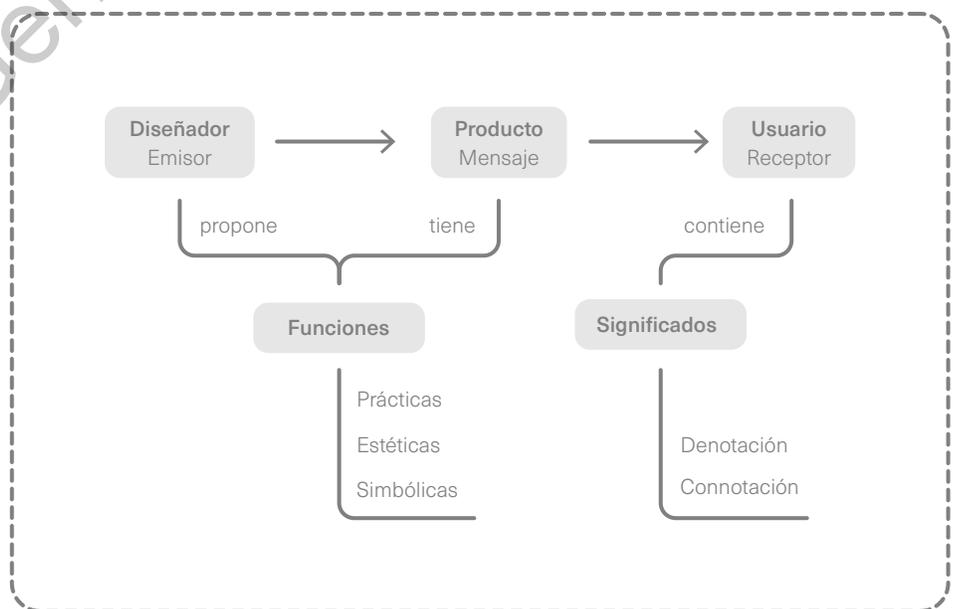


Fig 22. Comunicación de los productos de diseño [Elaboración propia (Fernández, Llorente & Fadruga, 2015)]

Diseño de dispositivos médicos

Debido a la naturaleza transdisciplinar del proceso de diseño industrial para la resolución de problemas a través de la innovación, el diseño comparte estrecha relación con sectores productivos que trabajen en el desarrollo constante de productos. Dentro del sector salud, la industria de dispositivos médicos se ha solidificado gracias a la vertiente de avances tecnológicos y científicos logrados en los últimos años que han desencadenado en cambios importantes dentro de la estructura de los sistemas de atención médica.

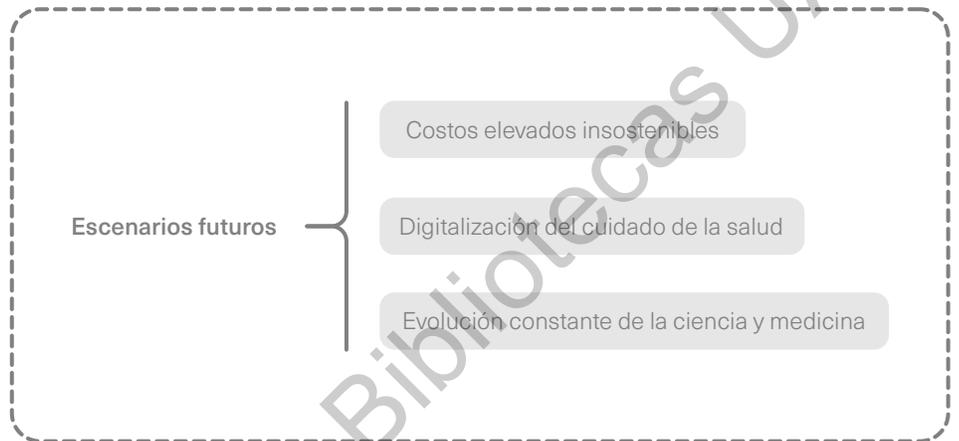


Fig 23. Innovaciones en sector salud y áreas médicas [Elaboración propia (World Economic Forum, 2019)]

De los principales atributos pertenecientes a un equipo de diseño que mayor aporta al desarrollo de dispositivos médicos es la capacidad integradora de su perfil, el diseñador se convierte el vínculo entre los actores participantes, pacientes, personal médico, ingenieros biomédicos, técnicos, proveedores, entre otros. El diseño propone soluciones considerando factores importantes que van más allá del cumplimiento práctico de la tarea específica que busca cumplir un producto. En la industria de los dispositivos médicos la relación entre el usuario y objeto es determinante e impactan directamente en la eficiencia de este.

El Comité de Dispositivos Médicos conformado por representantes de la Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos, la Comisión Federal para la Protección Contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) y miembros del sector industrial definen dispositivo médico como “todo instrumento, aparato, utensilio, máquina, implante, agente de diagnóstico, material, sustancia o producto similar, incluido el software para su funcionamiento, para ser empleado solo o en combinación de seres humanos y cuya intención de uso principal no es a través de mecanismos farmacológicos, inmunológicos o metabólicos; sin embargo, pueden ser asistidos por estos medios para lograr su función” (COFEPRIS, 2017). Debido a la amplia gama de estos productos existen diversas clasificaciones. Por su parte la Ley General de Salud propone una clasificación de dispositivos médicos basándose en su finalidad.

Las ayudas funcionales o de apoyo es un tipo de dispositivos médicos que se refiere a productos cuyo propósito es la superación de problemas funcionales derivados de la discapacidad, es decir, mantener o mejorar la funcionalidad de un

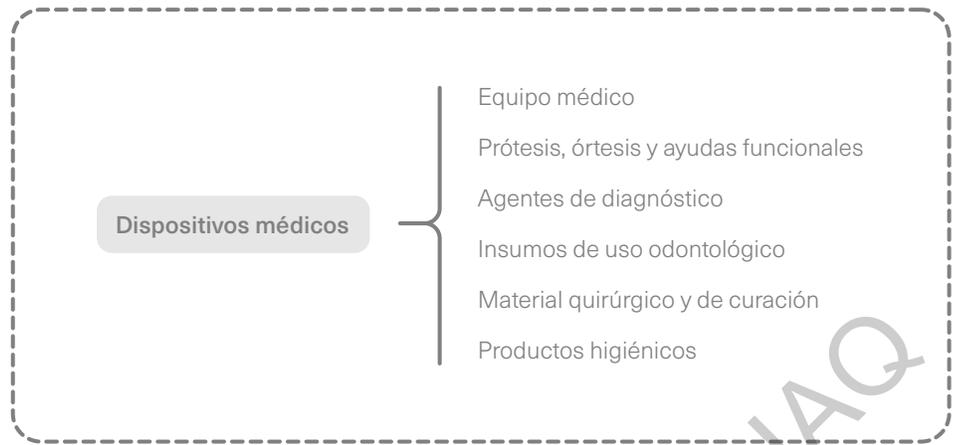


Fig 24. Clasificación de dispositivos médicos [Elaboración propia (COFEPRIS, 2017)]

individuo que presenta limitaciones en su cuerpo, es el principal puente de ayuda para la reintegración social de este grupo de personas.

La normativa internacional ISO 9999 (2016) define los productos de asistencia como “cualquier producto (dispositivo, equipo, instrumento o software), generalmente disponible y utilizado por personas con discapacidad y evitar así limitaciones de actividad o restricciones de participación”.

La discapacidad representa un punto de intersección entre el diseño y la salud a través de los productos de asistencia. Sin embargo, según Graham Pullin, autor del libro “*Design meets disability*” en 2009, las referencias respecto a la relación entre el diseño y la discapacidad a través del diseño de dispositivos médicos han sido exploradas de manera reducida, generando amplias oportunidades de trabajo que permitan convertir el diseño en un agente catalizador que proponga nuevas alternativas en el tratamiento de personas con discapacidad a través de objetos. Sin embargo, según el informe propuesto por el departamento de Tecnologías Sanitarias Esenciales de la OMS (2012), al diseñar particularmente un dispositivo para personas con discapacidad, las soluciones propuestas pueden convertirse en objeto de estigma social. Contraponiéndose ante esta situación, el diseño universal o incluyente, se ha conformado como una herramienta fundamental a la hora de diseñar objetos para personas con limitaciones. El diseño universal contempla como idea principal el hacer productos usables sin ser diseñados especialmente para las personas con deficiencias, evitando así crear productos rechazados por generar asociaciones negativas y críticas sociales en las personas con deficiencias.

Actualmente el objetivo primordial en materia de dispositivos para la salud propuesto por la OMS plantea mejorar el acceso a dispositivos médicos idóneos en todo el mundo trabajando cuatro ejes fundamentales: *disponibilidad, accesibilidad, idoneidad y asequibilidad*. La propuesta es descentralizar el aspecto tecnológico de los productos para el sector salud y encaminar los esfuerzos a la erradicación del desajuste entre el diseño del dispositivo y el contexto en el que se utiliza. La ergonomía se plantea como la principal herramienta, provista desde el diseño, para ajustar la descontextualización existente (OMS, 2012).

Respecto a la consideración de factores humanos y de usabilidad para el diseño ergonómico de dispositivos médicos, la postura de la Administración de Alimentos y Fármacos de los Estados Unidos, FDA por sus siglas en inglés, plantea como

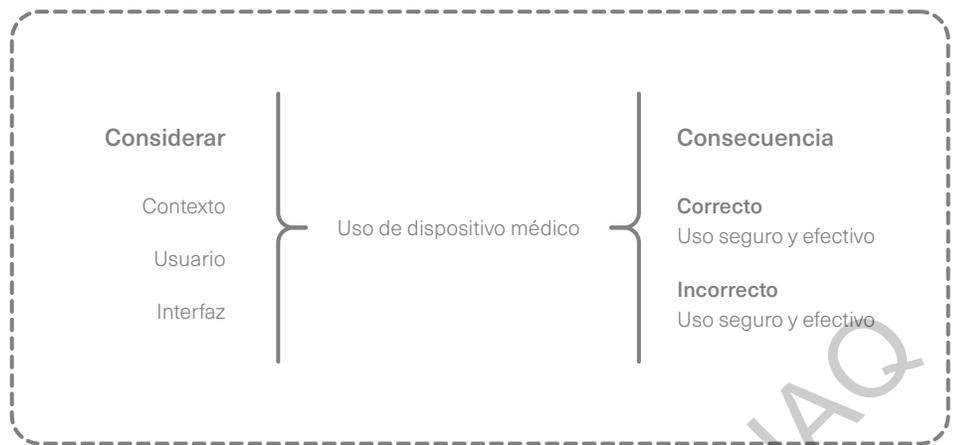


Fig 25. Consideraciones del uso de dispositivos médicos [Elaboración propia (FDA, 2016)]

principal objetivo minimizar riesgos respecto al uso de los dispositivos y asegurar el uso eficiente por parte de los usuarios. Los principales beneficios que se obtienen al aplicar los factores son dispositivos sustancialmente más fáciles de usar, mayor comprensión del usuario sobre el producto y sus funciones, fácil mantenimiento y una reducida capacitación para la operación del dispositivo (FDA, 2016).

Comprender las interacciones que las personas tienen con la tecnología es el principal enfoque de los factores humanos. En el desarrollo de dispositivos médicos, la interacción comprende tres componentes principales: *usuarios del dispositivo*, *entorno donde se use del dispositivo* y la *interfaz del dispositivo hacia con el usuario*.

Los usuarios deben ser capaces de usar el dispositivo evitando errores que comprometan su salud. Para lograr lo anterior se deben considerar las capacidades de los usuarios, por ejemplo, su estado físico y sus atributos de fuerza, resistencia, destreza y coordinación, habilidades, tanto sensoriales como cognitivas, estado mental y emocional, experiencias con dispositivos similares y tanta voluntad como *motivación* que tengan por usar el dispositivo.

El entorno donde los dispositivos médicos se desenvuelven puede ser clínicos o no clínicos, comunitarios o particulares, etc. Así mismo, el espacio, iluminación, ruido u otros factores ambientales influyen en su correcto desempeño. Por último, la interfaz de un dispositivo hacia el usuario se refiere a los elementos con los que el usuario tendrá contacto. Estas interacciones se dan al realizar distintas actividades, al configurarlo, usarlo o darle mantenimiento. Los factores objetuales son la interfaz del dispositivo, incluyendo forma, tamaño, peso, color, texturas, luces, pantallas, botones, accesorios, etc.

Trabajar en cuanto a la apariencia en el diseño de dispositivos médicos, buscando lograr un *uso intuitivo* por parte de los usuarios, evitará potenciales errores de uso. La estrategia anterior tiende a ser más efectiva que alternativas como intentar una mayor capacitación de los usuarios para el uso de dispositivos. La comunicación de lógica por parte del dispositivo hacia el usuario es esencial, de igual manera la expectativa que los usuarios tienen sobre el funcionamiento de los dispositivos, basada en experiencias del individuo, es un factor determinante para evitar errores en la interacción de los usuarios y tecnologías sanitarias (FDA, 2016).

Aunado a satisfacer las necesidades de usuarios respecto a la funcionalidad y uso de dispositivos médicos, el placer debe ser una vertiente considerada.

Como parte del lenguaje tomado por la FDA sobre factores humanos, los factores hedónicos buscan desarrollar la presencia de placer en la interacción humana con la tecnología, la idea no solo es prevenir errores potenciales a la hora de usar un dispositivo, si no también promover el placer durante su uso.

Diseño inclusivo

La innovación en el sector salud se ve reflejada cuando existe una mejora considerable en la salud de pacientes mediante la optimización consistente de dispositivos médicos. A pesar de ello, los avances tecnológicos pueden rechazarse por diferentes causas como, por ejemplo, representar una novedad, volver ineficiente el costo-beneficio o modificar prácticas tradicionales que atentan aspectos emocionales respecto a la salud y enfermedad.

Una vertiente para considerar al momento de desarrollar dispositivos médicos en donde la interacción humana con la tecnología implica mayores retos es el diseño inclusivo. Mismo que propone la creación de objetos y entornos accesibles para personas con necesidades únicas, "su principal objetivo es contribuir a la no discriminación y la inclusión social de todas las personas" (Weschenfelder Rodrigues, 2021, p.42). El diseño inclusivo no solo se encarga de aumentar las capacidades perdidas, tomando de ejemplo el caso de personas con discapacidad, sino también promover el autoestima y auto realización que aporten al incremento de la calidad de vida. Así mismo, Rodrigues dice que el diseño inclusivo entonces se puede entender como aquel que busca reducir la discriminación "a través de la adaptabilidad, accesibilidad y personalización funcional y estética".

A diferencia del diseño universal, el diseño inclusivo vela por consideraciones específicas a través de la personalización, además de intentar potencializar la función y atacar temas relacionados con el estigma que hay en productos para minorías. Según el autor, existen diversas formas de abordar un proyecto de diseño inclusivo, específicamente respecto a dispositivos médicos que auxilien a personas con discapacidad. Diferentes enfoques de visibilidad para este tipo de productos, en donde interviene el usuario y el entorno en donde se insertará. Lo anterior con tal aportar significativamente a la experiencia del usuario al momento de utilizar este tipo de productos, atendiendo su bienestar, en lo que respecta a su identidad y sentimientos (Grieg, Keitsch, & Boks, 2014).

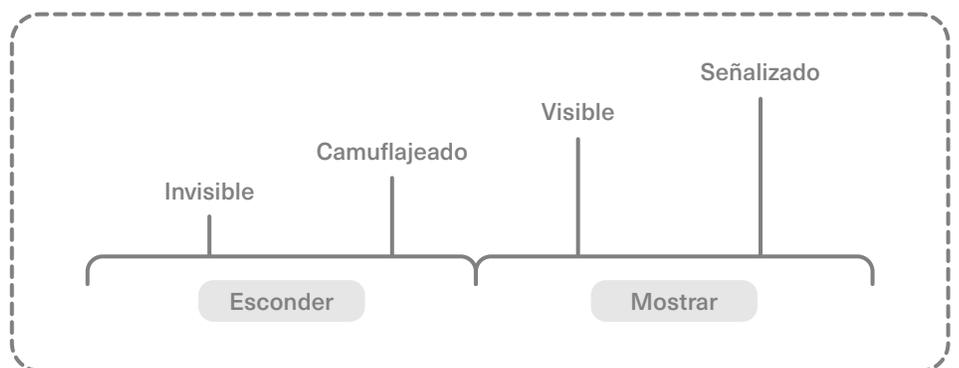


Fig 26. Visibilidad de productos en diseño inclusivo [Elaboración propia (Weschenfelder, 2021)]

3. Metodología

La herramienta metodológica utilizada para el desarrollo del proyecto se basó en un híbrido entre dos metodologías, Biodesign (Yock, *et al.*, 2015) y Design Innovation Process (Kumar, 2013), de las cuales se tomaron métodos específicos con características pertinentes para la resolución de problemas enfocados al sector salud y el diseño de dispositivos médicos.

La metodología constó de tres principales etapas que comenzaron en lo concreto, partiendo del entendimiento de los sucesos, para posteriormente llegar a lo abstracto, buscando soluciones ideales a problemas previamente analizados y definidos, y finalmente se volvió a un nivel concreto a través de una propuesta de solución tangible de carácter factible, viable y deseable.

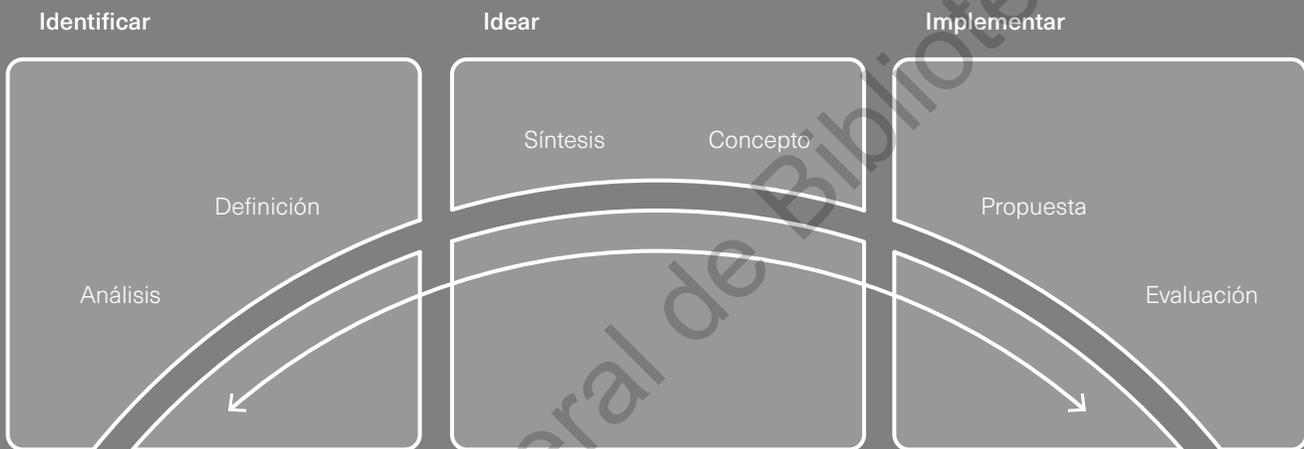


Fig 27. Método de diseño [Elaboración propia (Yock, *et al.*, 2015) (Kumar, 2013)]

Partiendo de lo concreto se realizó una investigación cuantitativa y cualitativa con el objetivo de generar conocimiento que permitió estructurar e integrar los elementos de la información para analizarla. A través de la conexión de observaciones y hallazgos dentro del sistema se dejó atrás lo concreto y se definió el problema específico a resolver.

A través de la síntesis de la información previamente analizada y definida hacia un problema específico se llegó al punto más abstracto del del proceso, permitiendo comunicar el problema y al mismo tiempo dar premisa a cómo puede ser solucionado. Posteriormente comenzó la etapa de conceptualización que generó propuestas de solución de acuerdo con los requerimientos y especificaciones establecidos para el diseño del producto respecto a sus ejes principales.

Haciendo tangibles las ideas a través de herramientas de representación se simuló y evaluó la propuesta conceptual de diseño seleccionada, realizando su validación y obteniendo conclusiones que permitirán determinar oportunidades hacia futuras investigaciones.

Identificar

Tomando como punto de partida la problemática referida a discapacidad motriz en extremidades torácicas se propuso generar conocimiento sobre todo lo referente a dicha afección de salud. Mediante la recopilación de información cuantitativa y cualitativa se analizó la situación y se denotaron relaciones existentes entre los diferentes actores que componen la problemática. Finalmente, al generar conexiones evidentes, se identificaron incongruencias dentro del sistema que permitieron así definir en términos generales un problema específico que expuso el área de oportunidad donde trabajar.

Analizar

Problemática

Por medio de la consulta de textos, se conoció la situación a nivel local, nacional y global sobre la discapacidad, indagando en las principales causas de esta deficiencia de la salud y las consecuencias generadas en las personas se ubicaron rutas de investigación específicas.

Discapacidad

Estimaciones de la OMS (2011) en el “Informe Mundial sobre la Discapacidad” señalan que en el mundo hay más de mil millones de personas con discapacidad, cifra que representa el 15% de la población total que, a pesar de su situación, son las más propensas a recibir tratos desfavorables en los sistemas de salud actuales e incluso es tres veces más probable que se les niegue la atención médica.

Las principales consecuencias negativas repercuten en la solvencia económica de las personas con discapacidad, la falta de oportunidad en el campo laboral y la baja tasa de acceso a la educación son las principales causas de que 1 de cada 2 personas con alguna deficiencia no pueda costear los gastos de su propia salud (OMS, 2011).

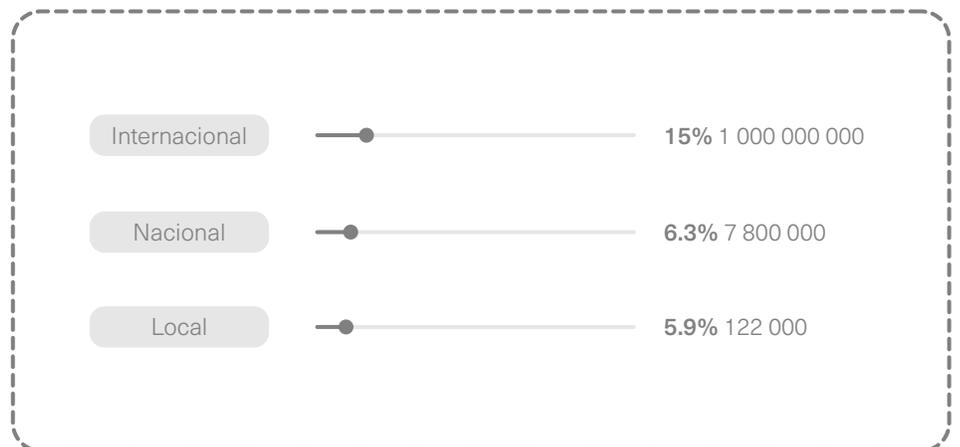


Fig 28. Personas con discapacidad [Elaboración propia (OMS, 2011)]

En México, los principales causantes de discapacidad son: en primer lugar, enfermedades, después la edad avanzada y finalmente los traumatismos o problemas de nacimiento con valores muy similares. El número de personas con prevalencia de discapacidad era de casi 8 millones de personas al año 2018 (Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica [SNIEG], 2018), aproximadamente 1 millón más que en 2014, actualmente esa cantidad representa poco más del 6% de la población mexicana. A nivel local, en Querétaro, por cada 1000 personas, 60 presentan alguna deficiencia, situación muy similar al promedio del país (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [INEGI], 2017).



Fig 29. Principales causas de discapacidad en México [Elaboración propia (INEGI, 2017)]

El INEGI (2017) señaló que un tercio de las personas con discapacidad en México presenta limitaciones para usar brazos o manos mientras que en el Estado de Querétaro dicho sector representa casi el 36%. Las principales causas de deficiencia en extremidades superiores siguen el mismo patrón; enfermedades, edad avanzada y traumatismo, siendo las personas adultas el sector poblacional más afectado.



Fig 30. Discapacidad motriz en miembro superior en México [Elaboración propia (INEGI, 2017)]

Específicamente en la discapacidad motriz en miembro superior, los traumatismos tienen una prevalencia más alta a comparación del porcentaje registrado a nivel general en el país y aunque únicamente 14 de cada 100 personas con discapacidad en brazos o manos se deba a lesiones traumáticas, las repercusiones son considerables si se considera al grupo poblacional que afecta y el corto periodo de latencia que lleva al estado de incapacidad a una persona relativamente sana.

Traumatismos

El estudio de publicaciones permitió ahondar en los traumatismos, conocer las principales características de estas lesiones, su clasificación, principales causas y sus consecuencias más allá de las condicionantes de salud.

Pese a que los traumatismos son el causante menos frecuente de discapacidad en la parte superior del cuerpo, cabe destacar que a estas lesiones se les considera endémicas ya que afectan particularmente a países en desarrollo, cuyas principales actividades son la manufactura, construcción y comercio, lo cual representa una exposición prolongada al riesgo a padecer estas lesiones no intencionales. De igual forma, estos eventos presentan picos epidémicos en aquellos lugares debido a que afectan principalmente al sector poblacional económicamente activo compuesto en su mayoría por personas en edad adulta (Academia Nacional de Medicina de México [ANMM], 2016).

Los traumatismos son un problema de salud pública por las elevadas tasas de mortalidad o morbilidad, el costo elevado para los involucrados y las secuelas, tanto físicas como psicológicas, que acarrearán hacia las personas involucradas. Desde una perspectiva global, según datos de la ANMM (2016) en el año 2010 se perdieron 200 millones de AVISA (Años de vida saludable perdidos por discapacidad) causados por traumatismos o también conocidos como lesiones no intencionales.

Directos		Indirectos
Médicos	No médicos	Pérdida de productividad
Consultas	Transporte	Gastos funerarios
Pre-hospitalización	Alimentos	Daños a la propiedad
Hospitalización	Alojamiento	Gastos administrativos
Medicamentos		Pérdida de capital social
Pruebas diagnósticas		Dolor y sufrimiento físico y psicológico
Prótesis u órtesis		Pérdida de calidad de vida

Fig 31. Principales costos derivados de traumatismos [Elaboración propia (ANMM, 2014)]

En el miembro superior, las lesiones traumáticas más comunes se presentan en las partes distales, es decir, en las manos, esto debido a que son el instrumento más usado y al mismo tiempo con mayor exposición al entorno. Específicamente en lesiones no intencionales ocurridas en actividades laborales, 25 de cada 100

lesiones terminan afectando las manos. En México las lesiones traumáticas que afectan dicha parte distal de las extremidades superiores pueden llegar a generar hasta 2,525,086 días de incapacidad temporal (Osnaya et al., 2014).

El costo de las lesiones no intencionales que derivan en discapacidad es potencialmente alto debido al daño directo e indirecto que repercute en el individuo. Representan un significativo daño económico por la atención médica requerida y al mismo tiempo una pérdida de productividad grande tras la incapacidad que pudiera experimentar la persona. También se aprecia una relación importante entre la ocupación de la persona y los traumatismos, ya sea como su causa o como una de las principales consecuencias.

Pese a que las lesiones de esta índole son muy comunes, principalmente en ambientes laborales, el enfoque de atención subyace a un nivel de prevención secundario ya que por lo regular en México no se le da seguimiento a la rehabilitación del individuo afectado que le permita adaptarse a las secuelas, un proceso estipulado en el tercer nivel respecto a la prevención de lesiones no intencionales y fundamental para mantener en medida de lo posible la calidad de vida de la persona afectada.

Por medio de una investigación secundaria, se revisaron publicaciones respecto a seguridad y salud en el trabajo, los traumatismos y la incapacidad que les puede generar a los trabajadores, su impacto en el aspecto económico, político y social y las tendencias de estos eventos a través de los años.

En México, la población económicamente activa se ha venido transformando con el paso del tiempo, pasando del sector agrícola hacia la industria manufacturera y de comercio, teniendo una prevalencia más alta de hombres, exceptuando en el comercio, donde las mujeres los rebasan ligeramente en número.

En países en desarrollo como este, el aumento de producción hace crecer paralelamente el número de lesiones no intencionales laborales, tan solo en el 2016 se tuvo registro de 516, 734 accidentes en el trabajo, concediéndose ese mismo año 32 000 incapacidades permanentes, 5, 000 más que las registradas en el 2012 (ANMM, 2016).

Sin embargo, se calcula que menos de la mitad de los accidentes ocurridos en el trabajo se registran esto debido a motivos principalmente económicos, como el hecho de evitar el incremento de la prima de seguros realizada a partir de la revisión anual de siniestralidad laboral. Aunado a esto, es preciso señalar que las cifras sobre lesiones no intencionales en el trabajo pertenecen únicamente al sector formal, dejando fuera a los trabajadores informales quienes representan igual o más grande.

Por su parte, sobre las consecuencias de lesiones, el trabajador formal tiene derecho a prestaciones en especie que van desde la asistencia médica, quirúrgica y farmacéutica hasta aparatos protésicos y tratamientos de rehabilitación. La Ley Federal del Seguro Social ofrece incapacidad a los trabajadores dependiendo las secuelas del individuo, pudiendo ser temporal o permanente, ya sea parcial o total, todo en base a la valuación de incapacidad que la Ley Federal del Trabajo pone a disposición. Dicha valuación muestra el porcentaje de salario que será asignado a una persona por incapacidad según sea la afectación funcional y estructural del cuerpo. Por ejemplo, sobre lesiones que afecten el miembro superior, la pérdida parcial de cuatro dedos de la mano, excluyendo al pulgar, corresponde máximo al

50% de su salario. la pérdida del dedo pulgar equivale al 35% mientras que el dedo índice representa únicamente el 20%.

Para obtener información de primera mano sobre las lesiones no intencionales en el sector laboral se realizó una entrevista a un experto que permitió ahondar sobre la salud pública laboral en el país y el estado de Querétaro, pudiendo así conocer las relaciones y perspectivas que existen entre la salud de los trabajadores, los entes gubernamentales y las empresas privadas ante el tema.

Dra. Hilda Romero

Doctora en Biología Molecular por la Universidad de Warwick en Inglaterra, ex becaria CONCYTEQ, PROMEP y CONACYT, adscrita laboralmente a la Universidad Autónoma de Querétaro en donde ha fungido como Docente e Investigadora de Tiempo Completo Nivel VII en los Programas de Licenciatura en Nutrición y en Enfermería, y los Programas de Maestría como Docente y Directora de Tesis de Grado en Nutrición Humana, Salud Pública y Ciencias de Enfermería e Ingeniería de Biosistemas.

Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería. Campus CU. Av. Hidalgo s/n, Col. Las Campanas, Querétaro, Qro., C.P. 76010, México. Cubículo 6, Edificio I Planta Baja. E-mail: phd.hromero@gmail.com



Fig 32. Entrevista a experto: Salud en el trabajo (Elaboración propia)

A través de un análisis e intercambio de comentarios acerca del texto “Salud pública y laboral para el desarrollo de la empresa” publicado por la Doctora hace más de 10 años, se reconstruyó la situación que se vivía en ese entonces respecto al tema de salud laboral. Comparando la información con números y estadísticas actualizadas, se demostró una existente prevalencia del promedio sobre la tasa de riesgos laborales a través de accidentes y enfermedades. Las consecuencias económicas que tienen este tipo de riesgos para la empresa son relevantes, la incapacidad producida por los accidentes laborales repercute económicamente en un elevado número de días de no laborados pagados a una persona. Sobre las afectaciones, las fracturas de dedo y problemas en la columna son las de mayor carga en días de incapacidad.

Actualmente se ha destinado mayor esfuerzo hacia la prevención y control de lesiones posturales, dejando de lado las lesiones en miembro superior como fracturas o amputaciones. Las empresas absorben el impacto de los accidentes y tienen el objetivo de minimizarlos, este problema representa una problemática que pudieran traer consigo consecuencias legales, por lo que actualmente las empresas tienden a pagar servicios médicos privados para tratar los accidentes laborales y minimizar los costos y posibles problemas de índole legal.

Los entes gubernamentales son un personaje muy importante en cuanto a salud laboral debido a que representan la respuesta inmediata para los accidentes y enfermedades laborales, por una parte, el Instituto Mexicano del Seguro Social protege al trabajador de empresa privada mientras que el Instituto de Seguridad y Servicio para Trabajadores del Estado cubre al trabajador de gobierno. Por otra

parte, las secretarías de salud atienden a los no afiliados (sector informal). En México no existe un reporte fidedigno de cuantas personas tienen lesiones laborales debido al sector informal y el hecho de que algunas empresas no contabilizan dichos eventos. Se pensaría que mientras más pasa el tiempo deberían disminuir los accidentes y riesgos de trabajo por una supuesta preparación de la industria, sin embargo, actualmente hay empresas con tasas de riesgos igual de altas que hace 12 años.

La Coordinación de Salud en el Trabajo perteneciente al IMSS reportó 21 500 incapacidades permanentes en México, 366 en el estado de Querétaro, en el 2017, siendo la mayoría de los afectados hombres, y cuyas principales causas fueron las fracturas y amputaciones en la región que comprende la mano y muñeca, en el miembro superior. Estos datos son respaldados y confirmados por los 115 300 accidentes laborales registrados esa zona específica del cuerpo convirtiéndola en la más dañada en ese año (Instituto Mexicano del Seguro Social, 2017).

Para conocer más sobre las lesiones en miembro superior, específicamente las partes distales, se realizó una entrevista a un experto quien aportó información de primera mano, desde la perspectiva médica privada, sobre las principales causas y tratamientos para estas lesiones traumáticas.

Dra. Mónica Fuentes

Directora general de la clínica de fisioterapia especializada en atención y rehabilitación de miembro superior Manus Fisioterapia. Cuenta con 17 años de experiencia en fisioterapia, en los cuales ha sido especialista de las áreas de respiratoria, traumatológica, neurológica, pediátrica y electroterapia. Licenciada en Terapia Ocupacional en el Colegio Superior de Oslo en Noruega. Licenciatura en Fisioterapia en la escuela Gaby Brimmer (DIF). Ex becaria de los United World Colleges, Gales, Reino Unido. Certificación kinesiotape e hipopresivos Kinesiotape International Association. Curso en Terapia Respiratoria, ALFIES. Curso de Terapia de Mano y miembro superior en la Asociación Americana de Terapia de mano, Baltimore USA. Curso de Órtesis de mano en KajeV. Cuenta con experiencia laboral en Teletón, DIF, Hospital de Ortopedia para niños Germán Díaz Lombardo. Docente de la Licenciatura en Fisioterapia de la Universidad del Valle de México campus Querétaro. Acreedora del 1er lugar a nivel nacional de Doctoralia Awards por tres años consecutivos (2016, 2017, 2018) como mejor clínica de fisioterapia.

Manus Fisioterapia, Rufino Tamayo 25, Pueblo Nuevo, El Pueblito, Qro. Tel. 442 131 558



Fig 33. Entrevista a experto: Traumatismos en miembro superior (Elaboración propia)

Las lesiones traumáticas más comunes en miembro superior se presentan en la mano, generadas principalmente por fuerzas externas de opresión que afectan generalmente los dedos de personas jóvenes adultas. En el universo de pacientes que se reciben en la clínica que dirige desde hace más de diez años existen ciertas tendencias a lesiones de este tipo de manera recurrente y denotan una demanda de tratamientos de rehabilitación efectivos que puedan ayudar a las personas a volver a su vida diaria. Las lesiones en esta región merman significativamente las capacidades del individuo para realizar cualquier tipo de actividad manual, por ello

es necesario en muchos casos las ayudas funcionales o prótesis que permitan devolver al individuo su movilidad.

Actualmente en México se comercializan poco los dispositivos médicos orientados a ayudar el funcionamiento de personas que han sufrido lesiones traumáticas como amputaciones. Los productos que satisfacen la necesidad son de difícil acceso para el promedio de personas que presentan el problema ya que provienen de un mercado extranjero de costos elevados. La experiencia que ha tenido con pacientes que presentan problemas a causa de lesiones traumáticas ha sido la falta de opciones sobre dispositivos que ayuden funcionalmente a las personas y que les permita realizar actividades cotidianas simples.

Los traumatismos representan eventos no previstos que impactan más allá de la salud del individuo, tienen una relación grande con su entorno y permean la calidad de vida de la persona y sus allegados. Específicamente las lesiones con secuelas permanentes, como amputaciones, condicionan significativamente a las personas y son bastante frecuentes dentro de los accidentes laborales, dañando particularmente la parte distal del miembro superior comprendida por la mano o los dedos de esta.

Amputación menor en miembro superior

Se estudiaron publicaciones referentes a las amputaciones parciales de mano, su rehabilitación y las afectaciones que generan en los individuos. También se indago acerca de la situación actual de dichos eventos, las tendencias que han seguido a través de los años y las estimaciones futuras que se tienen.



Fig 34. Principales causas de amputación en México [Elaboración propia (ANMM, 2016)]

La incidencia respecto a personas con alguna amputación en México era de 780 mil en el 2010 según reportes del INEGI, sin embargo, para el año 2014 el número había incrementado y llegado casi a los 900 mil afectados según la publicación "Los amputados y su rehabilitación: Un reto para el estado" publicado por la ANMM en 2016. La tendencia marcaba un promedio de 75 amputaciones diarias y más de 25 000 anuales, siendo las enfermedades vasculares la principal etiología de estas afecciones a estructuras anatómicas del cuerpo humano afectando principalmente el miembro inferior.

La situación de México respecto a las amputaciones traumáticas representa un problema debido a que afecta a miles de personas cada año. Según el Sistema

Automatizado de Egresos Hospitalarios (SAEH) perteneciente a la Secretaría de Salud (como se citó en ANMM, 2016), entre el 2011 y 2016, en promedio se registraron más de 2 000 amputaciones derivadas de traumatismos, afectando en mayor medida a la población masculina en una relación de 3:1 sobre las mujeres.

Respecto al agente etiológico de dichas amputaciones en el país, la mayoría se da por la manipulación de máquina y herramienta, en total se contabilizaron, en el 2014, 392 causados por esta situación. Mientras que accidentes viales y aplastamiento causaron 189 y 171 casos de amputación respectivamente.

Con base en la región del cuerpo afectada, en México las amputaciones traumáticas ocurren principalmente en extremidades torácicas, tratándose de pérdidas menores las más comunes. Datos del 2014 muestran que en la mayoría de los casos la afectación recae en la pérdida de una sola falange diferente del pulgar ya que la pérdida de este representa la minoría de los casos. Dicha pérdida "menor" genera 45% de disfunción cuando se pierde la mano completa y 23% en caso de perder únicamente el dedo pulgar.

Cabe mencionar que este tipo de lesiones afecta principalmente a personas adultas, sin embargo, el segundo grupo más afectado es el de menores de 10 años. La afectación a niños y adolescentes es más común que se de en el hogar mientras que las lesiones en personas adultas de entre 20 y 39 años ocurren en áreas industriales y de construcción.

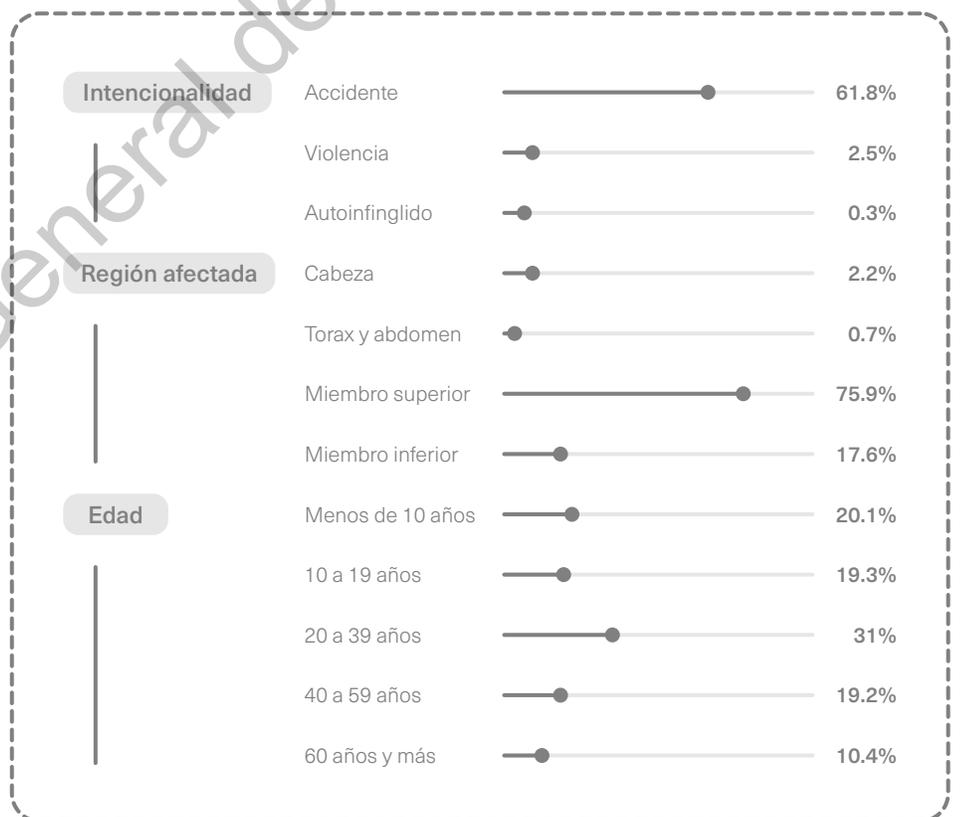


Fig 35. Generalidades de amputaciones en México [Elaboración propia (ANMM, 2016)]

El estudio "Estimating the Prevalence of Limb Loss in the United States: 2005 to 2050" publicado hace más de 10 años expuso que en Estados Unidos, en el 2005, 1,600,000 personas vivían con la pérdida de alguna extremidad, estimando el crecimiento de esta población que para el 2020 llegaría a 2,200,000 amputados y en 2050 a 3,600,000.

La distribución de las 1,600,000 personas con amputación registradas al 2005 mostraba que las enfermedades vasculares y los traumatismos eran las principales causas. Específicamente en amputaciones traumáticas (704,000 en total) casi 500,000 afectaron a las extremidades superiores, y de estas, más del 90% dañaron a los dedos de la mano.

Según la Asociación Médica Estadounidense, a través de Guías para la Evaluación de Discapacidades Permanentes, señala el valor que representa cada dedo para la capacidad de las personas, el dedo pulgar representa el 60% de la capacidad de la mano, mientras que el dedo índice y medio equivalen al 20% cada uno, y respectivamente el dedo anular y meñique a un 10%. Por ejemplo, la pérdida de cuatro dedos de la mano, exceptuando al pulgar, representa 60% de incapacidad en la mano, a su vez, esto significa que el miembro superior tendrá 54% de impedimento y como resultado esto equivale a que la persona tiene un 32% de incapacidad total. La pérdida de una pierna completa representa el 32% de incapacidad total en la persona, entonces, según la guía de la asociación médica, perder una pierna tiene el mismo impacto que perder cuatro dedos de la mano (sin incluir al pulgar).

Las estructuras anatómicas que más dañan los traumatismos, en el miembro superior, son las partes distales, las más alejadas del cuerpo, las mano y dedos. A causa de traumatismos el porcentaje de pérdida de dedos es predominante, y la tendencia recae en un cierto grupo poblacional de edad adulta que es económicamente activa.

Amputación parcial de mano

Se realizaron ejercicios de observación presenciales y virtuales con el objetivo de conocer a personas con amputación menor de miembro superior, específicamente aquellas que perdieron falanges. El objetivo fue conocer las características anatómicas y funcionales residuales tras una amputación traumática.



Fig 36. Personas con amputación en falanges de manos (Elaboración propia)

La ubicación proximal de las articulaciones metacarpofalángicas de las manos hace que sean menos propensas a dañarse tras una amputación parcial de mano, Es notable que los dedos segundo y tercero (índice y medio) son las regiones más afectadas, especialmente al nivel de la falange proximal.



Fig 37. Casos de amputación en falanges de manos (Elaboración propia)

La falta de interés por dispositivos protésicos recae, en gran medida, en la falta de dispositivos al alcance de los usuarios consultados. También, es preciso señalar que las lesiones sufridas por las personas observadas tienen su origen varios años atrás, en donde, según su testimonio, eran incluso nulas las opciones tras una amputación.

La organización anatómica y funcional de la mano converge en los patrones prensiles finos y gruesos que el conjunto de dedos pueda realizar. Es un instrumento único y capaz de ejercer movimientos prensiles fuertes y precisos al mismo tiempo. Su ubicación en el cuerpo hace que sean las estructuras de mayor contacto con el entorno, haciendo de ellas herramientas comunicativas. Tanto es así que el uso y visibilidad permanente de las manos hacen que sean parte fundamental de la imagen de las personas.

Respecto a personas con amputación en uno o más dedos de la mano, la afectación se concentró en el dedo índice y medio principalmente sin dañar las articulaciones metacarpofalángicas, reduciendo así su capacidad de flexión conjunta y simultánea de los dedos, presente regularmente en los patrones motrices de la mano, influyen directamente en su funcionalidad. Incluso las manos van más allá de los movimientos, representando una carga visual fuerte en la imagen de cada persona.

Rehabilitación de personas con amputación

Para conocer más acerca del tratamiento que se les da a personas con amputación, se realizó el análisis de publicaciones sobre el manejo rehabilitatorio de este tipo de lesiones, delimitar el proceso, las características y puntos críticos de este tipo de atención médica.

Actualmente el tratamiento que llevan las personas con amputación se denomina rehabilitación integral en el cual, el 90% de las personas que realizan correctamente el programa logra la independencia para el desarrollo de sus actividades cotidianas y laborales, sin embargo, estadísticas demuestran que solamente el 10% de las personas llevan a cabo un proceso de rehabilitación (ANMM, 2016).

Un proceso de rehabilitación integral para amputaciones traumáticas en extremidades superiores es muy diferente al tratamiento que reciben las amputaciones por otras causas. Al comprender los desafíos específicos que enfrenta esta población de pacientes, la planificación de vida puede ser una extensión relevante para el equipo médico, desarrollando planes más efectivos para las personas con pérdida de miembros superiores.

Los resultados óptimos se logran con un equipo de atención multidisciplinaria, las opciones protésicas incluyen una gama de dispositivos accionados por diferentes fuentes de energía o sin necesidad de ser accionados, cada uno con diferentes ventajas funcionales y psicológicas. Sin embargo, los usuarios de prótesis de extremidades superiores necesitarán atención protésica continua para mantener al paciente informado sobre las nuevas tecnologías y otros recursos clave que le podrían ser útiles en su rehabilitación.

Aunado a la importancia de regeneración funcional, el paciente también deberá estar expuesto a procesos de rehabilitación con fines psicológicos, por ejemplo, la terapia en espejo es un tratamiento que consiste en crear la ilusión en el paciente

de tener ambas extremidades sin amputación mediante ejercicios y su reflejo en un espejo. Después de ser descrita en 1996, el uso de esta terapia busca tratar el dolor de miembro fantasma que ocurre en un 72% de las extremidades amputadas y cuya incidencia suele ser alta en pacientes con amputación traumática; puede aparecer de manera inmediata hasta en un 75% de los pacientes o retrasada en un 25% de los mismos (Ramírez Uricoechea, *et al.*, 2016).

La rehabilitación integral para personas con amputación implica la participación y el esfuerzo de todos los involucrados durante el proceso. Es preciso destacar el tratamiento del factor psicológico como parte medular dentro del programa de rehabilitación debido a que, al presentar una pérdida, los pacientes comienzan a ser invadidos por sentimientos de inseguridad y problemas interpersonales que terminan por condicionar el tratamiento.

El ser humano por naturaleza busca aprovechar los recursos físicos que posee para poder satisfacer la necesidad psicológica de participar en distintas actividades durante toda su vida. Sin embargo, aunado a la limitante física que representa una amputación, la reducción en su participación como ser social que provoca una lesión de esta índole genera un daño psicológico importante.

La sensación negativa que involucra un sentimiento de tristeza y disminución tanto moral como física, es una variable subjetiva a la cual se conoce como sufrimiento, misma que cambia dependiendo el individuo afectado y el contexto en el que se desarrolle. Es fundamental trabajar este tipo de sensaciones durante un tratamiento de rehabilitación con el objetivo de iniciar un proceso de adaptación en personas con alguna amputación. Las metas del área psicológica dentro del tratamiento se concentran en mantener una entereza positiva en el paciente que los auxilie en afrontar sus adversidades mediante el desarrollo de resiliencia, factores biológicos, psicológicos y sociales para resistir, adaptarse y fortalecerse ante una situación adversa (Flores, 2014). A pesar de lo anterior, la adaptación dependerá en gran medida de la personalidad que presente cada individuo (ANMM, 2016).

Datos de la ANMM señalan que en México 1 de cada 10 personas con miembros amputados se rehabilitan y que incluso las personas pueden llegar a tardar entre 1 y 5 años en acudir al centro de rehabilitación tras su amputación, siendo problemas de depresión y dependencia los principales motivos.

Con motivo de conocer sobre el proceso de rehabilitación que atraviesan las personas con amputación, las labores que se realizan en el área de terapia física y los principales objetivos por cumplir a través de dichas terapias, se entrevistó a un experto en la materia.

El área de terapia física de CRIMAL está conformada por terapeutas físicos que trabajan en la rehabilitación de los pacientes. Inicialmente se hace un diagnóstico general de la salud de la persona para saber si presenta alguna enfermedad crónica o de algún otro tipo. Desde el inicio hasta el término de la rehabilitación integral, el área de terapia física siempre está al pendiente de la evolución del individuo. Primero, en el área pre-protésica, se realiza la valoración inicial que trata las contracturas o lesiones cercanas al muñón y trabaja en la generación de fuerza muscular y preparación física para que el cuerpo pueda recibir satisfactoriamente una la prótesis.

Una vez que la prótesis se ha entregado y ajustado al paciente, se inicia la etapa protésica que se basa en la búsqueda de una adaptación física correcta a la

Dra. Brenda Feregrino

Fisioterapeuta en el área de terapia física en el Centro para Rehabilitación Integral de Minusválidos del Aparato Locomotor (CRIMAL), institución de asistencia privada dedicada a la rehabilitación integral de personas discapacitadas del sistema musculoesquelético.

Hacienda Santa Fe 110 Colonia El Jacal, Querétaro Qro. C.P. 76180. Tel: (442) 215 0612
Web: www.criminal.org. E-mail: contacto@criminal.org



Fig 38. Entrevista a experto: Terapia física (Elaboración propia)

prótesis. Es un proceso largo y pesado para los pacientes que generalmente llegan con la idea de que el usar una prótesis es un proceso muy sencillo, provocando en muchas ocasiones un rechazo hacia el dispositivo. Las prótesis deben quedarse en CRIMAL por los primeros meses en donde solamente la persona puede utilizarla en un par de sesiones semanales. Posteriormente el paciente puede llevarse la prótesis a su casa con el condicionamiento de usarla un número determinado de horas a la semana. Aproximadamente al cabo de un año es cuando el paciente puede utilizar de manera diaria su prótesis. Todo lo anterior hablando de prótesis de pierna o brazo. En el caso de amputaciones menores de extremidad superior, las personas suelen no asistir a la terapia física argumentando erróneamente que no es necesaria la rehabilitación, siendo así las personas que menos asisten a este tipo de clínicas.

Un problema que resulta presente en amputaciones de miembro superior es el desuso del miembro ya que se suspende completamente sus movimientos y participación, lo que provoca que este comience a atrofiarse, impidiendo que se rehabilite adecuadamente.

Cabe destacar que la parte psicológica y nutricional son fundamentales para las terapias físicas ya que controlan factores del paciente que repercuten en el éxito de la terapia en la etapa pre-protésica y protésica. Cuando un paciente ha avanzado lo suficiente en la adaptación hacia una prótesis comienzan a realizar pruebas más complejas basadas en la escala Daniels que evalúa la capacidad de la persona de vencer una resistencia, esta prueba se aplica a lesiones en ambos miembros del cuerpo.

Para conocer más sobre el trabajo realizado por el área de prótesis y órtesis dentro del proceso de rehabilitación de personas con amputación se entrevistó a un experto que permitiera conocer más sobre el proceso de diseño y manufactura del dispositivo, así como la participación del paciente durante este proceso.

En CRIMAL hay un área específica dedicada a prótesis y órtesis en donde cuentan con un equipo de profesionales en el tema. El laboratorio de prótesis y órtesis de CRIMAL es uno de los más importantes de la zona, debido a la gran capacidad de producción de dispositivos médicos realizada mensualmente. El área de prótesis y órtesis entra en acción en la segunda etapa del proceso que siguen los pacientes. La etapa protésica, se basa en la planeación, elaboración, entrega y ajuste de la prótesis. En primera instancia se entabla comunicación con el área de terapia física quienes les proporcionaran los requerimientos específicos para

cada prótesis dependiendo el paciente y su respectivo caso. Posteriormente se trabaja directamente con el paciente para obtener las medidas necesarias y el molde negativo a partir del cual se inicia el proceso de fabricación de su prótesis. Después, se obtiene el positivo de yeso que se trabaja manualmente para utilizarlo como molde final. La elaboración de prótesis se basa en armar un rompecabezas en donde las piezas son elegidas de acuerdo con los requerimientos de movimiento, soporte, estética, etc. que dicta el cuerpo médico a través de la prescripción y en base al conocimiento del protesista que determina como la mejor opción, por ejemplo, decidir el método de sujeción, material, alcance, etc.

Dr. Rubén Estrada

Director del área prótesis-órtesis y especialista en la fabricación de dispositivos protésicos en el Centro para Rehabilitación Integral de Minusválidos del Aparato Locomotor (CRIMAL), institución de asistencia privada dedicada a la rehabilitación integral de personas discapacitadas del sistema musculoesquelético.

Hacienda Santa Fe 110 Colonia El Jacal, Querétaro Qro. C.P. 76180. Tel: (442) 215 0612
Web: www.criminal.org. E-mail: contacto@criminal.org



Fig 39. Entrevista a experto: Dispositivos protésicos (Elaboración propia)

Las prótesis son hechas a partir de elementos importadas de empresas especialistas en el área de origen alemán o estadounidense. Corporaciones dedicadas a productos protésicos y ortésicos como Ottobock, Streifender, Össur entre otras, posteriormente se hace el pedido a dichas empresas que hacen llegar los productos aproximadamente una semana después. El costo de las prótesis es elevado y en ocasiones la conformación de prótesis como de mano o de miembro superior son más complicadas de elaborar por la compleja obtención de los elementos y el elevado costo de estos. Después de un tiempo estimado de mes y medio se hace la entrega de prótesis al paciente que en conjunto con terapia física comienzan a probarla y en base a los resultados se ajusta nuevamente en el laboratorio. Respecto a las amputaciones parciales de mano y sus respectivas prótesis y órtesis existen nuevos avances de empresas extranjeras que brindan soluciones para la pérdida de dedos. En México es complicado obtener dichas prótesis, siendo lo más común utilizar prótesis cosméticas. No es común en México el uso de prótesis para amputaciones en dedos de la mano debido a que la disponibilidad de estas prótesis es mucho menor a otras prótesis, además, el costo de estas es demasiado alto debido a su nivel de complejidad.

La rehabilitación como proceso integral es fundamental, no solo por la cuestión funcional que busca mejorar en la persona, sino que también respecto a los efectos psicológicos y socioeconómicos que puede tener en el paciente.

La configuración de los dispositivos protésicos en el laboratorio de CRIMAL se realiza enteramente por los técnicos en prótesis y órtesis encargados, es el médico que manda la prescripción del dispositivo y raramente el usuario llega a participar

en este proceso, lo anterior debido a que los componentes de estos dispositivos son de perfil funcional completamente.

El armado de las prótesis, en este caso de miembro inferior, que se realiza en CRIMAL, se lleva a cabo dentro del laboratorio en donde se ensamblan las piezas provenientes del extranjero, las cuales deben probarse continuamente en conjunto con el terapeuta y el paciente para lograr una correcta adaptación a su cuerpo.

Descripción

La fabricación de prótesis, en este caso, miembro superior, se basa en la elección de las variantes posibles que ofrecen los proveedores de dispositivos prótesis a través de sus manuales. Se debe definir el grado de movilidad de la prótesis y a partir de esta premisa elegir los componentes adecuados a la necesidad de la persona, tanto físicos como estéticos.

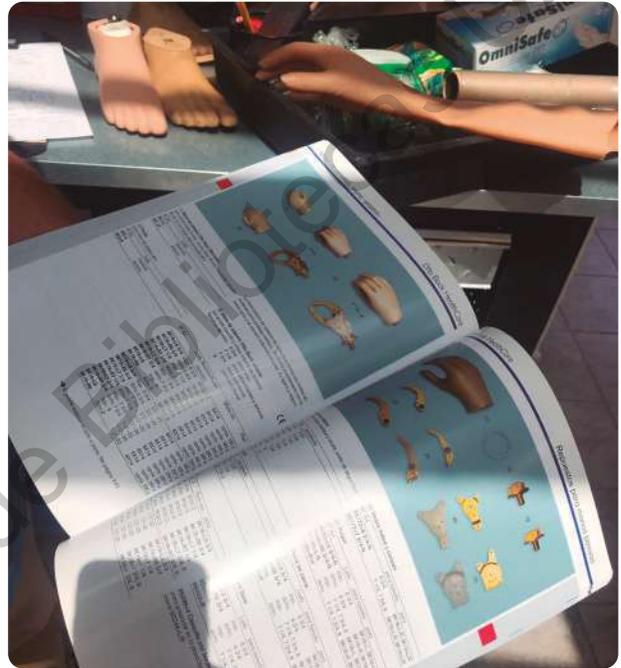
Actividad

Elección de elementos y componentes para una prótesis de extremidad superior.

Fecha y lugar

Marzo 2019
Laboratorio de prótesis y órtesis
Centro para Rehabilitación Integral de Minusválidos del Aparato Locomotor (CRIMAL) Querétaro, México.

Observaciones



Personas	Objetos	Ambientes	Mensajes	Servicios
Protesista-ortésista Técnico Ayudante	Manual Otto Book Mesa de trabajo Pies y guantes cosméticos de prótesis	Laboratorio de prótesis y órtesis Espacio de almacén de manuales	Análisis Selección Especificaciones	Fabricación de dispositivos prótesis Selección de piezas a proveedor Otto Book



Fig 40. Observación: POEMS (Elaboración propia)

El socket del dispositivo protésico, en esta ocasión de miembro inferior, se realiza artesanalmente por medio de moldes de yeso, el objetivo es obtener el negativo del muñón de la pierna, con todos los detalles posibles, para que se adapte a su cuerpo y no lastime al paciente. El diseño y construcción de dispositivos protésicos utiliza procesos artesanales combinados con piezas complejas sofisticadas que logran dar funcionalidad al dispositivo. La participación de la persona es casi nula durante este tipo de procesos.

Descripción

Las prótesis para miembro inferior son dispositivos médicos compuestos de un gran número de elementos y piezas que deben ser ensamblados y ajustados de manera precisa. Cada ajuste es individual para cada paciente, ya que las necesidades respecto a las estructuras y funcionamiento del muñón son únicas en cada individuo con amputación

Actividad

Composición de una prótesis para miembro inferior.

Fecha y lugar

Marzo 2019
Laboratorio de prótesis y órtesis
Centro para Rehabilitación Integral de Minusválidos del
Aparato Locomotor (CRIMAL) Querétaro, México.

Observaciones



Personas	Objetos	Ambientes	Mensajes	Servicios
Protesista-ortésista Técnico Ayudante	Prótesis transfemoral de miembro inferior Mesa de trabajo Herramientas Pegamentos	Laboratorio de prótesis y órtesis Espacio de ensamblado y ajuste	Precisión Ajuste Testeo Orden	Fabricación de dispositivos Ajuste de componentes y sistemas protésicos



Fig 41. Observación: POEMS (Elaboración propia)

Descripción

Para la fabricación de una prótesis primero se elabora un molde negativo y positivo a partir de especificaciones y requerimientos previamente establecidos de acuerdo a las particularidades de la persona con amputación.

Actividad

Ajuste de molde y contramolde para la fabricación del socket de una prótesis de miembro inferior.

Fecha y lugar

Marzo 2019
Laboratorio de prótesis y órtesis
Centro para Rehabilitación Integral de Minusválidos del Aparato Locomotor (CRIMAL) Querétaro, México.



Observaciones

Personas	Objetos	Ambientes	Mensajes	Servicios
Protesista-ortesta Técnico Ayudante	Tarja Molde y contramolde Herramientas Tabla de requerimientos	Laboratorio de prótesis y órtesis Espacio de moldes	Especificaciones Trabajo manual Mediciones	Fabricación de dispositivos protésicos Desmolde y ajuste

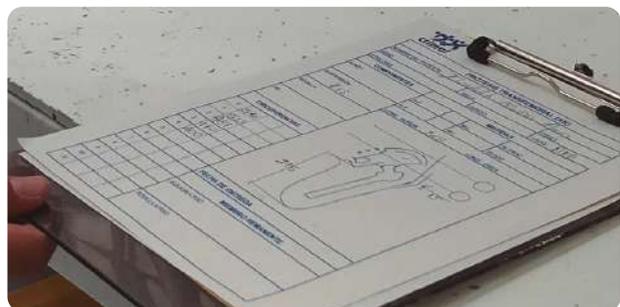


Fig 42. Observación: POEMS (Elaboración propia)

Soluciones existentes

Prótesis y ayudas funcionales

Se estudiaron publicaciones referentes a dispositivos protésico, consideraciones de diseño, propuestas tecnológicas, componentes y las diferentes clasificaciones. Posteriormente, con el objetivo de analizar soluciones existentes respecto a estos dispositivos enfocados a la motricidad de las manos en personas con discapacidad, se realizó una búsqueda y análisis a diferentes niveles: estructural, referido a los



Fig 43. Prótesis más antigua de la historia: 950 - 710 AC. (Finch, 2011)

componentes del producto, funcional, premisas físico-técnicas, uso, interrelación entre el producto y el usuario, morfológico, relaciones estético-formales del producto, y semiótico, significado percibido del producto.

Los dispositivos médicos juegan un papel imprescindible para la atención médica diaria en hospitales, centros de salud, laboratorios, casas particulares, etc. En gran medida son responsables del incremento de salud en las personas en los últimos siglos. Según la OMS (2012), la tecnología médica moderna, que inicio a partir de la primera mitad del siglo XIX, ha avanzado significativamente en los últimos 50 años, derivando en una estimación de hasta 10,000 categorías de dispositivos médicos disponibles en el mercado actualmente. La rehabilitación de lesiones que afectan al sistema musculoesquelético data aproximadamente de los años 3500 a 1700 a.C. cuyo registro más antiguo de un dispositivo protésico consistía en una pierna para amputación de miembro inferior (ANMM, 2016). Sin embargo,

	PIPDriver	Dedos estéticos	MCPDriver
	Naked Prosthetics	Dianchet	Naked Prosthetics
			
Estructural	Base que se fija al muñón, extensión y punta de falange.	Sujeción a hueso del muñón (soporte), brazos de aluminio que se flexionan pasivamente con funda cosmética.	Semiguante externo con cinturón, extensión de aluminio, soporte en muñón y punta de falange.
Funcional	Mecanismo de cuatro barras.	Oposición fija ajustable	Mecanismo de cuatro barras.
Uso	La persona se coloca el dispositivo y al mover naturalmente sus PIP, la prótesis se mueve.	La persona flexiona el dispositivo según la actividad que quiera realizar. Se ayuda de la otra mano para hacerlo.	La persona se coloca el dispositivo y al flexionar sus MCP genera movimiento a la prótesis.
Morfológico	Mecanismo semiexpuesto siguiendo la forma de los dedos humanos de forma ligera.	Mecanismo interno como herramienta cubierto con pieza de silicona que imita idénticamente el dedo de la persona.	Mecanismo expuesto con materiales pesados poco similar a la morfología de los dedos humanos.
Semiótico	Herramienta. Robusto.	Discreción. Delicado. Plástico.	Herramienta. Robusto.

Fig 44. Análisis de productos análogos (Elaboración propia)

no fue hasta pasados los acontecimientos bélicos del siglo XX (Segunda Guerra Mundial) cuando comenzaron a aparecer dispositivos médicos cuyo objetivo era tratar secuelas de enfermedades que afectaban directamente la capacidad motriz de las personas.

Influenciados por naciones más desarrolladas en tecnologías para la salud, en la década de los años 40's, los países de Latinoamérica comenzaron las primeras prácticas de terapias físicas, ocupacionales y posteriormente psicológicas como parte de un proceso de rehabilitación integral a través de servicios especializados en sistemas protésicos.

Respecto a miembro superior específicamente, la primera prótesis, de la cual se tiene registro, data del año 2000 a.C. encontrada en una momia egipcia, posteriormente apareció la primera mano de hierro fabricada durante la Segunda

	Arm/Legs Covers	Third Thumb	Brazo / Mano Xkelet
	Alleles Design	Dani Clode	Xkelet
			
Estructural	Cubierta y cinturones de sujeción.	Cinturón de ajuste, falange modular y centro de control con correa.	Estructura dividida en dos partes y ligas que sujetan ambas.
Funcional	La cubierta se amarra a la prótesis con los cinturones superiores e inferiores.	Funcionamiento electrónico con comando en los pies para ajustar la flexión.	La rigidez hace que se inmovilice la extremidad y deje transpirar.
Uso	La persona customiza sus cubiertas (estilo, forma, colores, etc.) y se las asigna a sus cubiertas.	Se coloca el dedo en la parte lateral de la palma y se ajusta a la mano. Cuando se manda la señal se flexiona.	Se obtiene la morfología de la extremidad y se parametriza el dispositivo. La persona se coloca de forma autónoma.
Morfológico	Forma guiada completamente por la morfología de las prótesis de MI estilizadas con elementos que permiten la expresión del individuo.	Síntesis de la morfología de las falanges humanas a través de materiales y texturas neutras y simples.	Sigue la forma natural del brazo a través de diseño paramétrico con carácter minimalista usando colores vibrantes y neutros.
Semiótico	Diversidad. Identidad. Personal	Agregar. Mejor. Más.	Moderno. Futurista. Accesorio.

Fig 45. Análisis de productos análogos (Elaboración propia)

Guerra Púnica en el año 210 a.C. aproximadamente. Fue en el año 1400 d.C., cuando se fabricó la mano de alt-Ruppín, que significó un avance considerable en prótesis de extremidades torácicas ya que contaba con un pulgar en oposición a las demás falanges, los cuales podían ser flexionados manualmente a conveniencia.

Para el año 1500 se mejoraron los mecanismos que permitían los movimientos de flexión y extensión en las falanges, también, en dicho siglo apareció por primera vez un recubrimiento estético para la mano protésica fabricado a base de cuero. En 1900 comenzaron a explorarse materiales como polímeros y maderas para la fabricación de dichos dispositivos.

El siglo pasado generó los mayores avances en este campo ya que aparecieron diferentes innovaciones de diseño respecto al control del movimiento en las manos

	Thumbie	Re-Fill	Point Digit
	Camila Iribarren	Kim Yeo Gun	Point Design
			
Estructural	Guantelete de una pieza con cinturón de ajuste y antiderrapante en la superficie de agarre.	Cinturón, soporte de falanges continua y pulgar de soporte modular.	Falange articulada y base con guantelete ajustable.
Funcional	Los dedos de la mano en oposición contra el dispositivo permiten sostener objetos grandes.	Interpretación de señales EMG musculares del individuo.	Mecanismo de oposición fija ajustable a diferentes posiciones para lograr patrones motrices.
Uso	Guantelete que se introduce a la mano, se ajusta en la muñeca, La persona flexiona y se apoya para hacer pinza	Se coloca en el soporte y se ajusta la correa. Se mueve con autonomía.	La persona se ajusta el dispositivo y según la actividad motriz es que ajusta la flexión de las falanges.
Morfológico	Síntesis de función con morfología alejada a la humana.	Formas alejadas de características humanas a través de formas minimalistas y colores claros.	Mecanismo expuesto y materiales que denotan durabilidad con formas antropomórfas
Semiótico	Práctica. Ejercicio. Independencia.	Tecnológico. Minimalista. Limpio.	Superhumano. Robusto. Masculino.

Fig 46. Análisis de productos análogos (Elaboración propia)

protésicas, ya fueran a través de musculatura residual del miembro perdido o por fuentes de energía externas (Dorador, 2004).

Los dispositivos comerciales, en su gran mayoría son de origen extranjero, altamente competitivos respecto a su funcionalidad, ya sea a partir de mecanismos impulsados biológicamente por la musculatura del cuerpo humano o mediante fuentes de energía externa. Por otro lado, también está el grupo de prótesis denominado comúnmente como “cosméticas” las cuales se caracterizan por su inclinación hacia la apariencia y discreción de la lesión mediante la imitación de la parte del cuerpo perdida.

Respecto a registros de propiedad sobre dispositivos protésicos, se puede inferir que el objetivo primordial buscado es recuperar las funciones motrices del

	Hands of X	Väärtus	Replacement-Finger
	Graham Pullin	Liivamäguí Rowan	Evan Kuester
			
Estructural	Estructura de madera y piezas intercambiables con una caja de resguardo.	Juego de elementos independientes que ayudan funcionalmente distintas actividades.	Pieza de silicón que se ajusta al dedo.
Funcional	Rompecabezas de armado pasivo.	La morfología combinada con soporte del cuerpo crea palancas para realizar actividades específicas.	La forma permite asistir diferentes actividades que no requieran la flexión de las falanges (agarre).
Uso	La persona va configurando la composición futura de una prótesis armando su propia mano.	Dependiendo de la actividad, la persona elige el accesorio, se lo coloca y realiza la tarea.	La persona se coloca el remplazo en su dedo y comienza a interactuar con el entorno.
Morfológico	Materiales, colores, texturas que definen un conjunto significativo a través de formas abstractas humanas.	Formas guiadas por la función, herramienta simple con materiales plásticos y colores neutros.	Formas guiadas por la síntesis morfológica humana usando materiales suaves y colores vibrantes.
Semiótico	Diversidad. Detalles. Personalización.	Facilidad. Acceso. Autonomía.	Accesorio. Fácil. Útil.

Fig 47. Análisis de productos análogos (Elaboración propia)

miembro perdido, en el caso de amputación parcial de mano se plantea recuperar funciones realizadas por distintas falanges perdidas. De igual forma se plantean diferentes fuentes de energía que permitan volver a cumplir las tareas motrices finas y gruesas de la mano. Sin embargo, son pocos los registros de que se involucran más allá de la pérdida física que sufre una persona con amputación, reduciendo éstas a soluciones a dispositivos cosméticos sin movimiento alguno.

Existen factores implícitos hacia las prótesis que determinan el cumplimiento de su función crítica, el rol indispensable de un proceso de rehabilitación como parte del tratamiento para la pérdida de algún miembro ya que no solo dependerá del uso o no de una prótesis. De igual manera, los traumatismos de esta naturaleza tienen un peso significativo en el factor psicológico de los individuos, notándose en propuestas que exploran más allá de la funcionalidad del objeto.

	Partial M-Fingers	Epíttesis parcial	Materilism
	Partial Hands Solutions	Ottobock	Dani Clode
			
Estructural	Base, sujeción, y falanges articuladas.	Una sola pieza de silicona que se ajusta a la mano.	Dividido en dos piezas simétricas del brazo, y una subdivididas en más partes.
Funcional	Oposición fija ajustable en un número finito de patrones o posiciones.	Dedos fijos a la mano por vacío sin movimientos.	Las piezas se ajustan entre sí y recrean la figura humana del brazo sin movimiento.
Uso	La persona coloca el dispositivo en la posición más conveniente para lograr una prensión motriz.	Se coloca en la posición del muñón y ayuda a sostener objetos de forma pasiva.	La persona va armando su brazo con las piezas de diferentes características.
Morfológico	Forma y materiales que siguen una similar morfología del cuerpo humano.	Características formales que imitan totalmente la morfología del dedo de cada persona.	La mitad respeta la estética humana mientras que la otra mitad rompe con texturas y materiales diversos.
Semiótico	Desechable. Frágil. Herramienta.	Discreción. Plástico. Inerte.	Diversidad. Facetas. Personalidades.

Fig 48. Análisis de productos análogos (Elaboración propia)

Pese a la gran demanda de dispositivos médicos, específicamente prótesis, a nivel nacional existe un número limitado de alternativas para adquirir algún dispositivo de esta índole. Según datos presentados en el texto “Los amputados y su rehabilitación” de la Academia Nacional de Medicina (2016), anualmente la producción de prótesis en México no rebasa los 1500 dispositivos, considerando que cada año hay más de 27 mil amputados, se genera la necesidad de importar artículos del extranjero, de ahí una de las principales causas por la que personas con ausencia de algún miembro no hagan uso de este tipo de dispositivos. Una posible causa de este acontecimiento radica en el decreciente número de especialistas en el diseño y fabricación de órtesis y prótesis en México. Basado en estándares de la Organización Mundial de la Salud, la relación entre número de amputados y especialistas en la manufactura de prótesis dentro de un mismo país, México cuenta con el 15% de especialistas necesarios para atender la presente demanda del país.

Definir

Observaciones

A partir del análisis de la información primaria y secundaria recopilada tras la investigación se esquematizó la información relevante sobre el problema identificado dentro del sistema utilizando mapas mentales que facilitaran su entendimiento.

La amputación repercute directa y visualmente en las personas mediante la pérdida de una extremidad, afectando la capacidad del individuo por participar en su entorno. Sin embargo, esta secuela permanente derivada de un traumatismo involucra una pérdida más allá de lo físico que tiene que ver con lo psicológico. Es a través de la inseguridad, depresión y desconfianza como se refleja la baja autoestima de una persona que perdió una parte de su cuerpo. El incremento de discapacidad causa un decremento del valor propio de la persona.

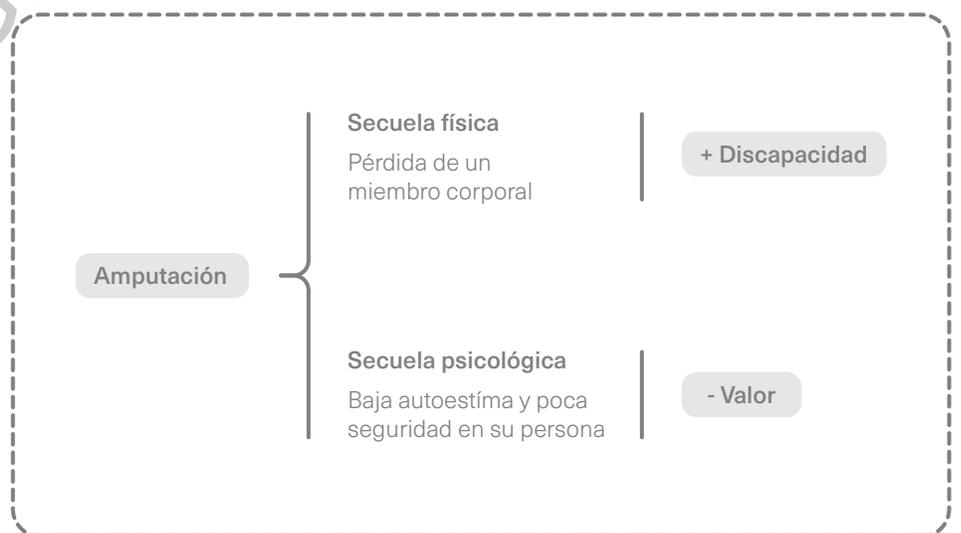


Fig 49. Consecuencias de una amputación (Elaboración propia)

Basado en las deducciones se realizó un estudio sobre publicaciones referentes a la autoestima, el autoconcepto y la importancia para el individuo y su identidad.

La autoestima de las personas se refiere a una actitud hacia uno mismo, es de una naturaleza particularmente dinámica ya que cambia constantemente gracias a sucesos y sentimientos que se experimentan día tras día. Esta valoración que realizamos de nosotros mismos se basa principalmente en el autoconcepto de nosotros, es decir, la imagen que tenemos de nosotros mismos, cuando el autoconcepto satisface al individuo, la valoración es positiva y por ende su autoestima será alta, de lo contrario, cuando el autoconcepto se percibe de forma negativa, la autoestima será baja.

La formación del autoconcepto se va dando a partir de las relaciones sociales en diferentes escenarios y la retroalimentación desatada que la persona tenga a lo largo de su vida. Mediante estas experiencias la persona configura constantemente su imagen, su identidad.

Las prótesis encargadas de atender la adaptación de las personas a las secuelas causadas por una amputación se concentran en ciertas partes del problema y no el conjunto, mientras que las funcionales buscan remplazar las carencias físicas de las personas, las cosméticas intentan resarcir el daño emocional mediante el maquillaje de esta.

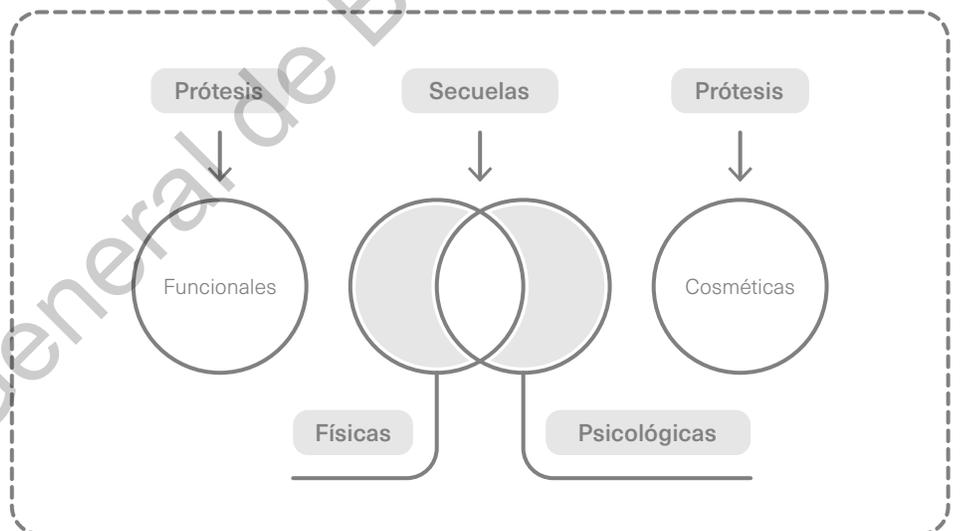


Fig 50. Incongruencia en el sistema: Brecha entre prótesis (Elaboración propia)

Hallazgos

Basado en la investigación previamente realizada y la esquematización del problema, se plasmaron las principales observaciones y hallazgos tras ubicar conexión y puntos de incongruencia dentro del sistema.

Carácter antropomórfico

Diferencias marcadas respecto al grado de definición en los caracteres antropomórficos en los dispositivos protésicos cosméticos y funcionales.

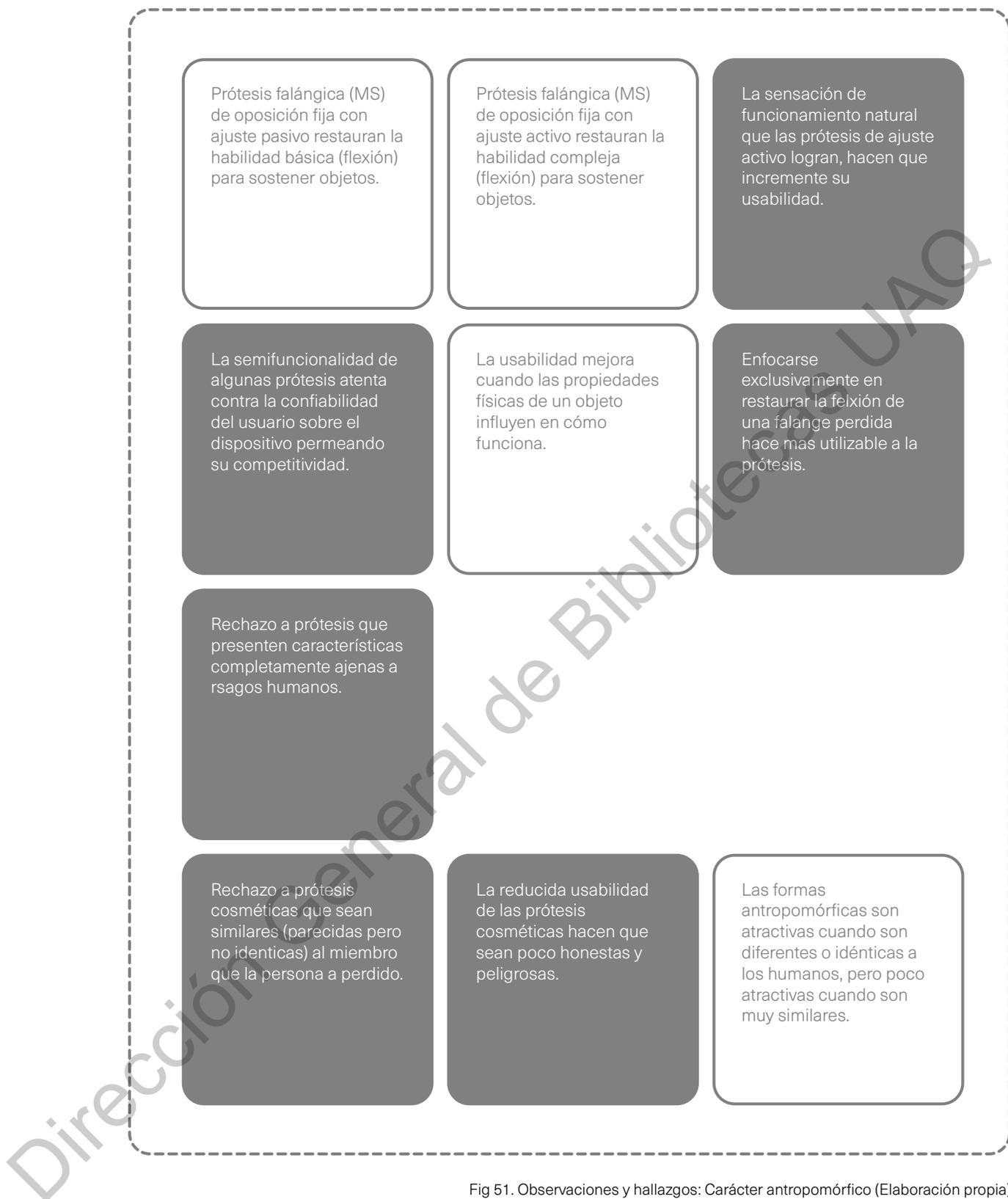


Fig 51. Observaciones y hallazgos: Carácter antropomórfico (Elaboración propia)

Contextualización de oferta

Consideración de tecnologías y procesos viables encaminados al acceso y asequibilidad de las personas a los dispositivos protésicos.

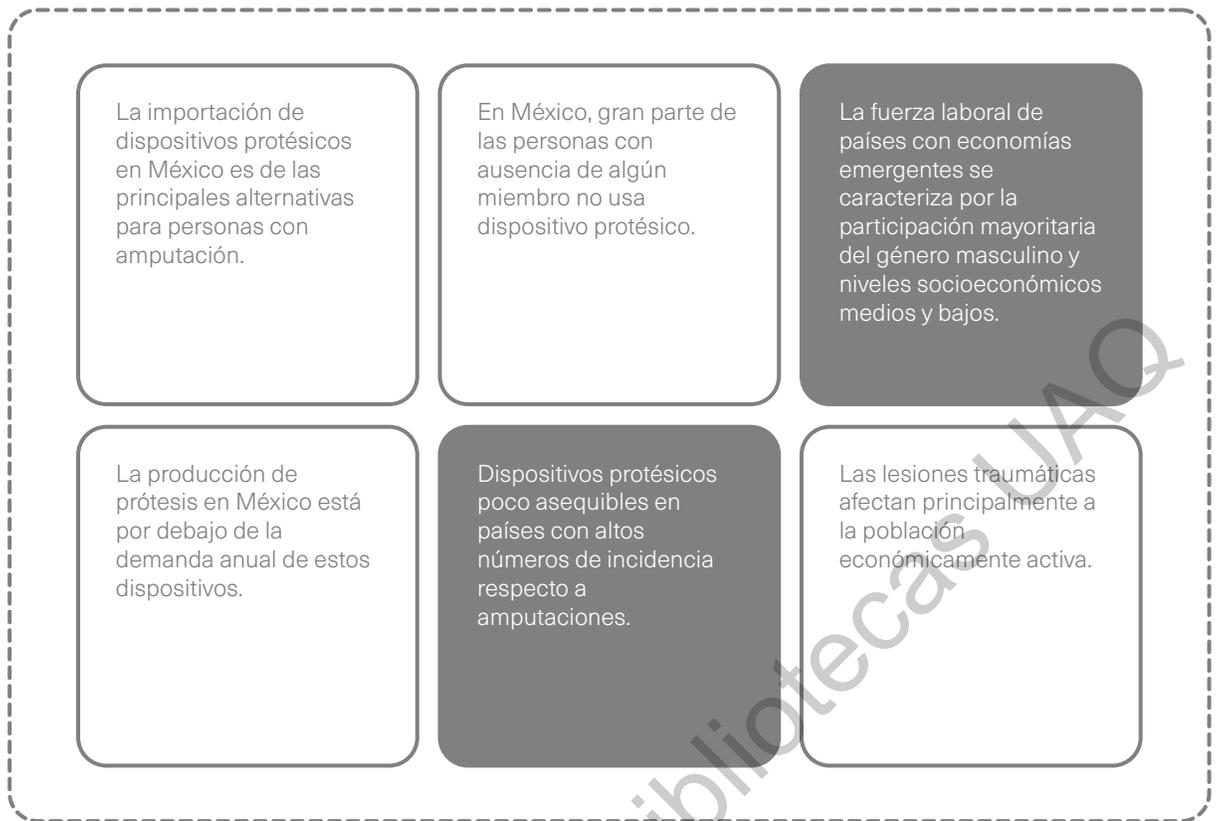


Fig 52. Observaciones y hallazgos: Contextualización de la oferta (Elaboración propia)

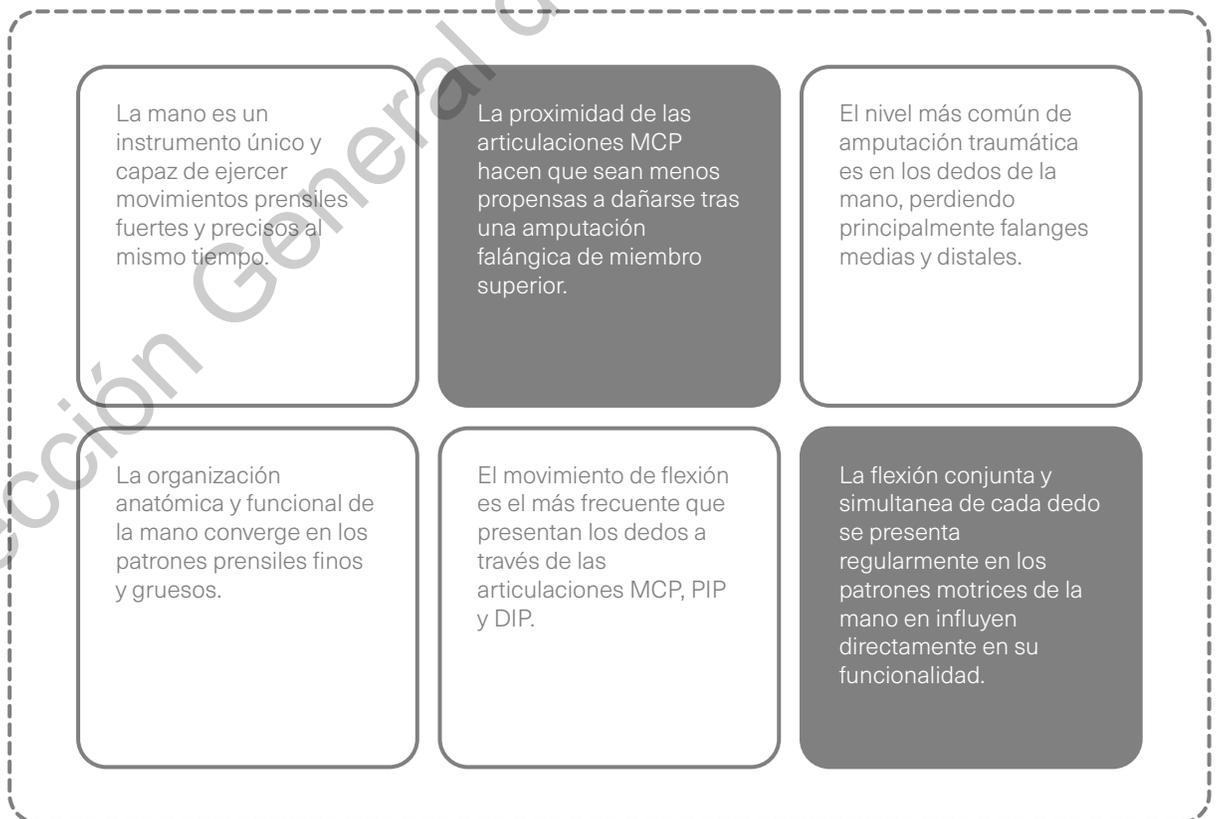


Fig 53. Observaciones y hallazgos: Manipulación por flexión (Elaboración propia)

Manipulación por flexión

Capacidad de control dada por el grado y carácter de las flexiones realizadas por los dedos hacia la zona palmar de las manos.

Evento inesperado

Postura de carácter negativo en la adaptación proveniente de un rechazo a las secuelas permanentes tras una amputación.

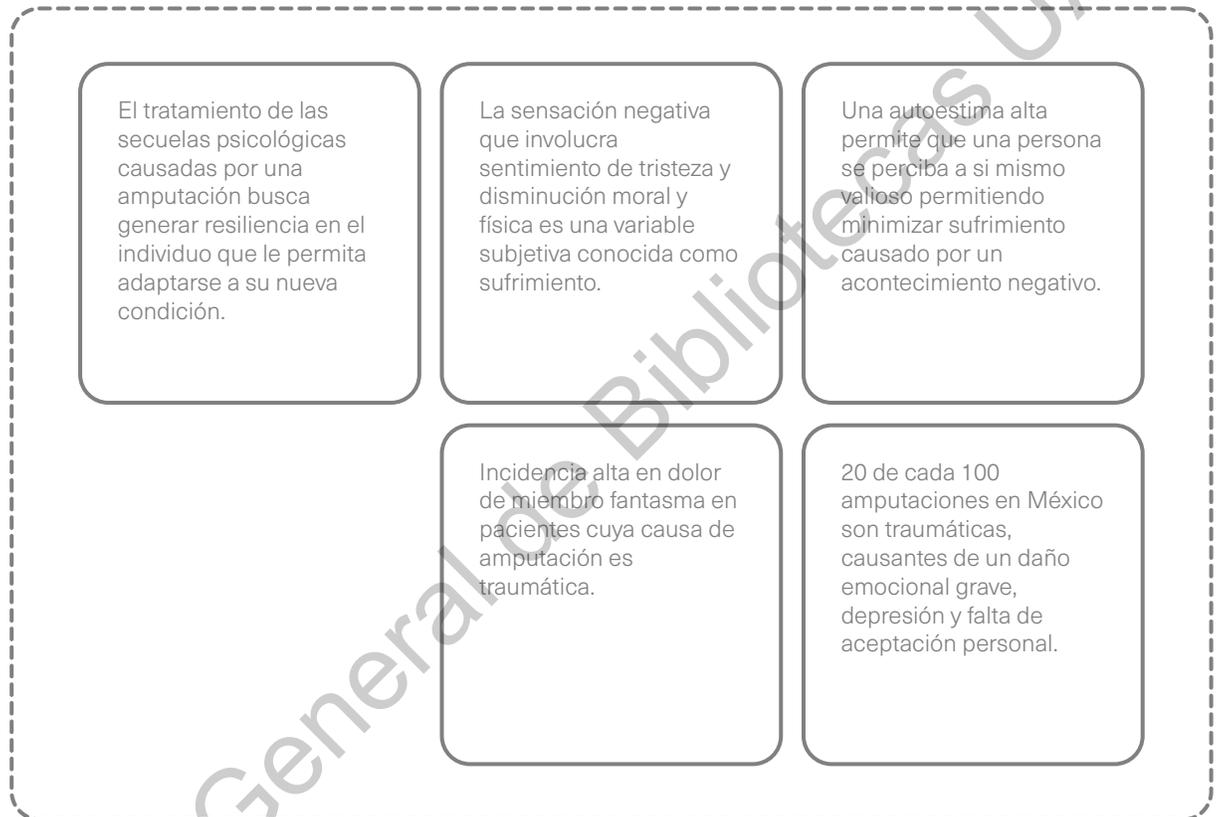


Fig 54. Observaciones y hallazgos: Evento inesperado (Elaboración propia)

Conformación de identidad

Soporte en la configuración y comunicación que conformen la imagen propia a la que una persona aspira.

Expresión de personalidad

Promoción de individualidad como generador y soporte de valor personal.

Partes no íntimas

Exposición de las manos con motivos centrados a la relación tanto física como social que una persona tiene.

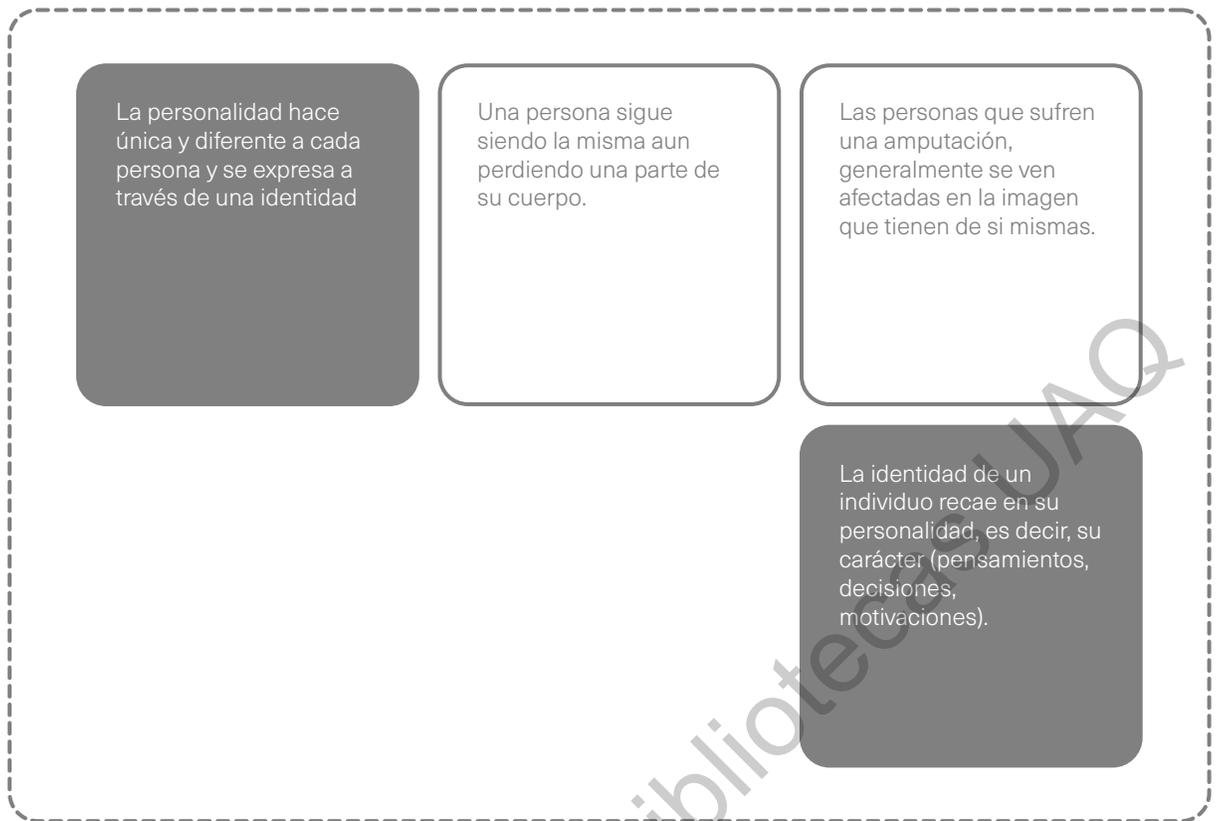


Fig 55. Observaciones y hallazgos: Conformación de identidad (Elaboración propia)

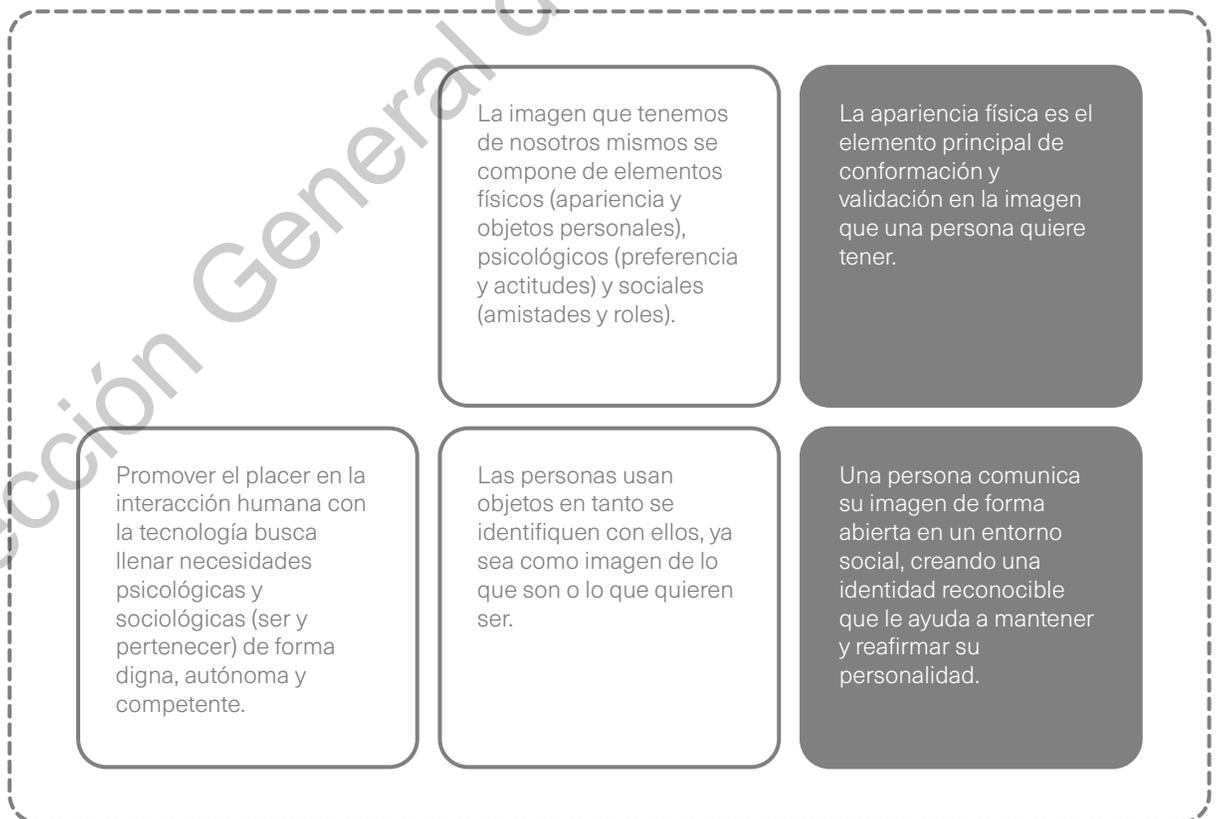


Fig 56. Observaciones y hallazgos: Expresión de personalidad (Elaboración propia)

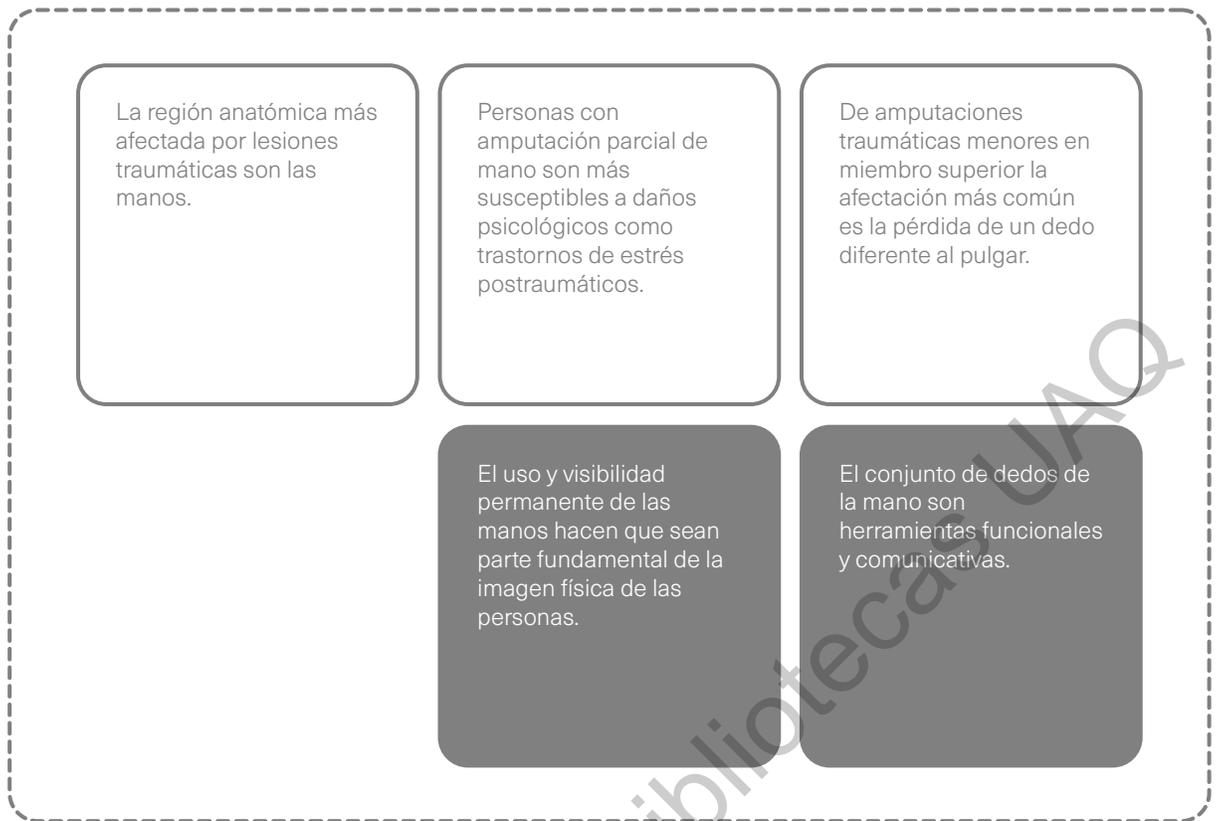


Fig 57. Observaciones y hallazgos: Partes corporales no íntimas (Elaboración propia)

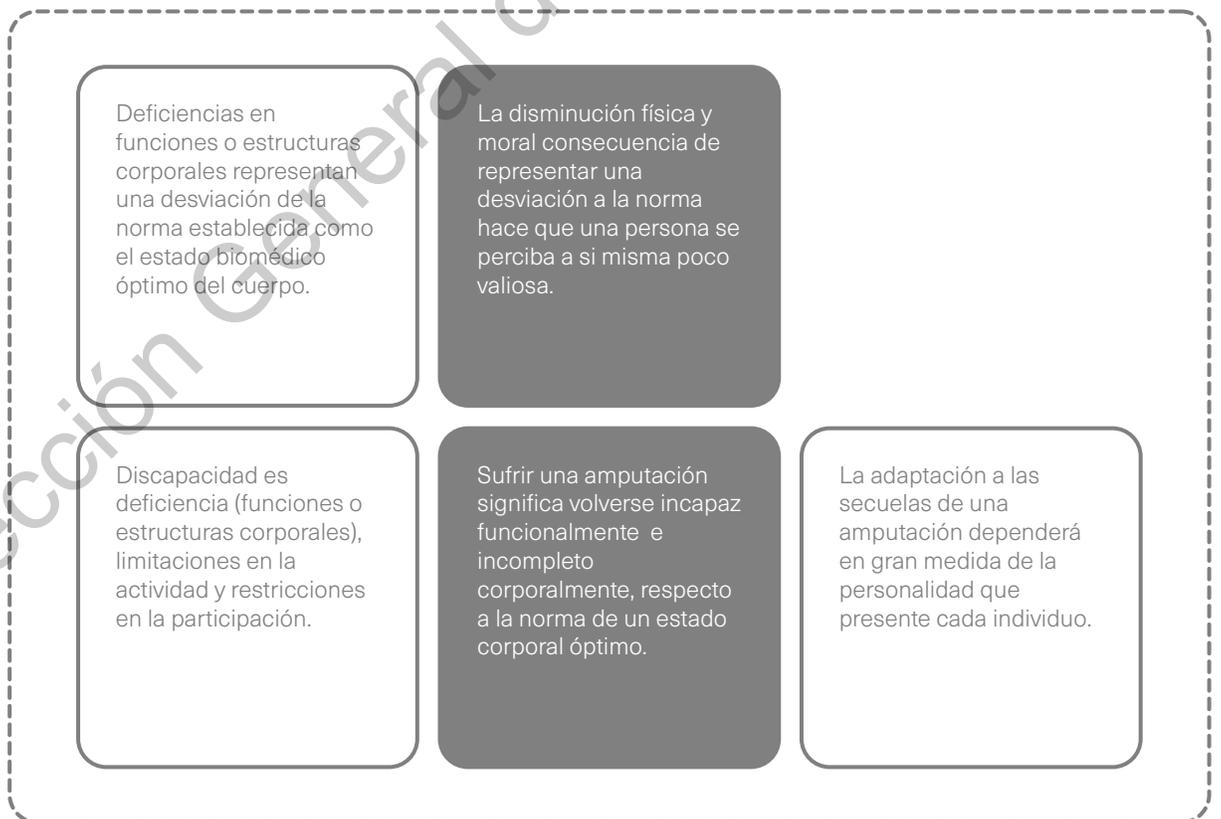


Fig 58. Observaciones y hallazgos: Desviación de la norma (Elaboración propia)

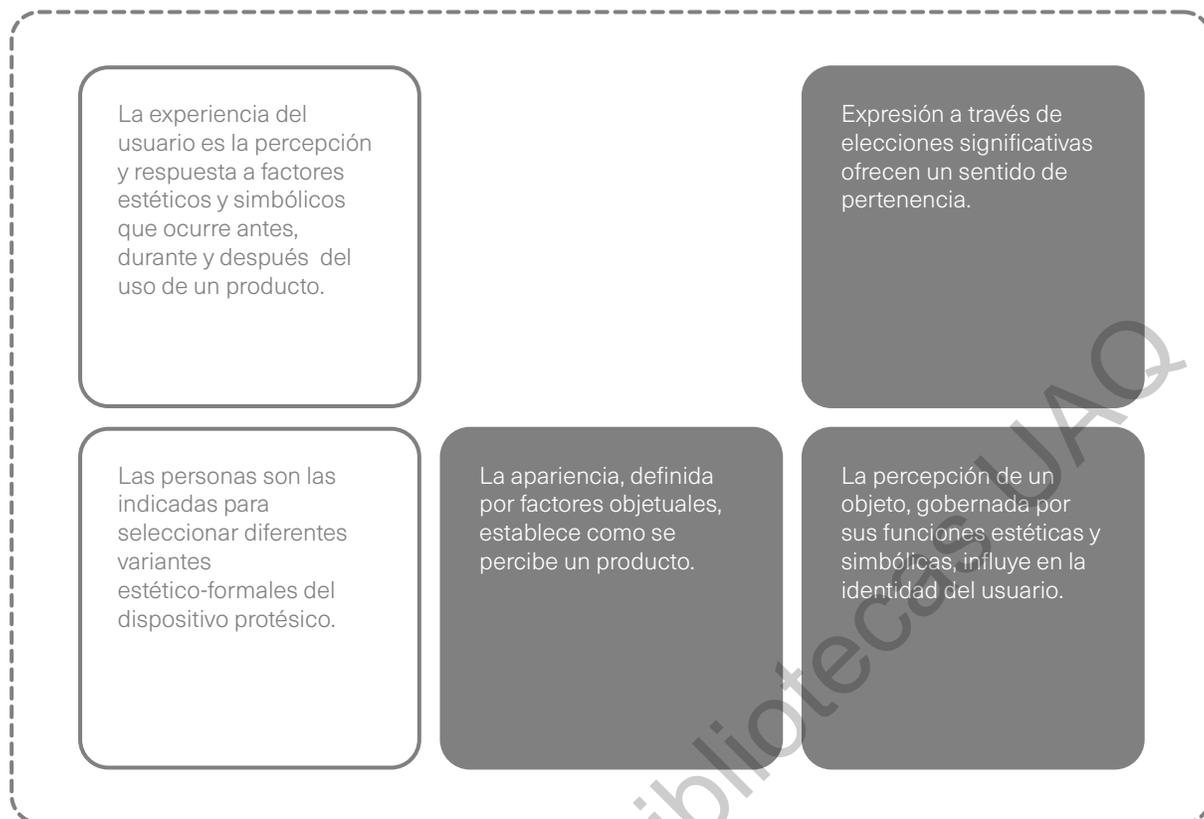


Fig 59. Observaciones y hallazgos: Sentido de pertenencia (Elaboración propia)

Desviación de la norma

Percepción poco valiosa asociada a personas que son diferenciadas del resto por sus deficiencias corporales.

Sentido de pertenencia

Expresión y participación de la persona dentro de un proceso de adopción.

Problema

Tras la identificación de hallazgos sobre el problema analizado, se plantearon los términos generales que responden a las incongruencias del sistema estudiado, de igual forma son la premisa inicial para solucionar el problema.

Las prótesis falángicas para miembro superior

Limitan su auxilio a la adaptación de una persona a las secuelas físicas de una amputación a pesar de que el tratamiento de rehabilitación plantea atender integralmente secuelas tanto físicas como psicológicas. Dispositivo que reemplaza un miembro corporal, que genera una connotación poco valiosa en la persona que hace uso de ella.

Fig 60. Problema (Elaboración propia)

Qué	Prótesis falángica de miembro superior.
Para quién	Personas con amputación menor en extremidad superior
Por qué	Los dispositivos protésicos no atienden el proceso de adaptación a secuelas psicológicas que una persona con amputación requiere para su rehabilitación. La pérdida de un miembro corporal incrementa la discapacidad y genera en la persona una percepción poco valiosa de si misma.
Para qué	El dispositivo protésico auxilie a que la persona realice una valoración positiva de si misma y se adapte integralmente a su nueva condición.
Cómo	Considerar funciones estéticas y simbólicas al diseñar el dispositivo protésico.

Fig 61. Brief de diseño (Elaboración propia)

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Idear

Al sintetizar la información previamente analizada y enfocada hacia los dispositivos protésicos se propusieron principios de diseño como premisas para la resolución del problema. Posteriormente se conceptualizó por medio del planteamiento de ideas y elaboración de alternativas que generaran propuestas de diseño en acuerdo con los requerimientos y especificaciones establecidos.

Sintetizar

Principios de diseño

Se proponen principios de diseño a través de la transformación de hallazgos provenientes de la investigación en planteamientos de acción con iniciativas que en su conjunto den solución al problema definido.

Expresión de personalidad

Promoción de individualidad como generador y soporte de valor personal

Mejorar la participación de una persona con discapacidad mediante la comunicación de su carácter y valor personal

Desviación de la norma

Percepción poco valiosa asociada a personas que son diferenciadas del resto por sus deficiencias corporales

Disipar asociaciones mediante la valorización de una persona por su carácter, valores y principios

Sentido de pertenencia

Expresión y participación de la persona dentro de un proceso de adopción

Adoptar un objeto a partir del involucramiento e inmersión que el usuario tenga en el proceso de configuración

Evento inesperado

Postura de carácter negativo en la adaptación proveniente de un rechazo a las secuelas permanentes tras una amputación.

Guiar a la persona con amputación mostrando el alcance de la prótesis respecto a la adaptación a secuelas físicas y psicológicas

Conformación de identidad

Soporte en la configuración y comunicación que conformen la imagen propia a la que una persona aspira.

Incrementar la aceptación personal mediante la configuración de una imagen deseada que reafirme su identidad

Manipulación por flexión

Capacidad de control dada por el grado y carácter de las flexiones realizadas por los dedos hacia la zona palmar de las manos.

Aumentar la competencia de una persona y su prótesis partiendo de funciones análogas del miembro a reemplazar

Partes no íntimas

Exposición de las manos con motivos centrados a la relación tanto física como social que una persona tiene.

Elevar la confianza personal a través de la habilidad y apariencia que provee una prótesis falángica de miembro superior

Contextualización de oferta

Consideración de tecnologías y procesos encaminados al acceso y asequibilidad de las personas a los dispositivos protésicos.

Mejorar la accesibilidad y asequibilidad de las prótesis implementando principios que le den un funcionamiento factible y viable

Carácter antropomórfico

Diferencias en el grado de definición de características antropomórficas respecto a la función y estética en dispositivos protésicos.

Mejorar la atracción hacia un dispositivo protésico desde la abstracción de la morfología humana remplazada

Fig 62. Principios de diseño (Elaboración propia)

Perfil de diseño de producto (PDP)

Se determinaron los lineamientos que definen las principales características del producto a diseñar precisando los aspectos indispensables en cuanto a su función, estética, ergonomía, mercado y producción.

En búsqueda de solucionar el problema identificado en la oferta de dispositivos médicos orientados a ayudar a personas con amputación el producto por diseñar será una prótesis falángica de miembro superior que auxilie integralmente los procesos de adaptación, físicos y emocionales, por los que atraviesa una persona que ha sufrido la pérdida de algún dedo de la mano.

Con base en las consideraciones análogas, respecto al funcionamiento de los dedos de la mano, el dispositivo deberá permitir movimientos básicos de flexión y extensión pensando en la recuperación de funcionalidad en cuanto a patrones prensiles ejecutados por la mano a través de los dedos.

Al determinar el sentido de pertenencia y expresión de identidad como premisa de diseño, las características formales del objeto deberán atender hasta cierto punto la particularidad de cada usuario. Teniendo en consideración la exposición constante a la que estará el dispositivo y su impacto en la imagen global del individuo, deberá soportar la imagen que el usuario quiera configurar.

Respetando la antropometría y movimientos articulatorios residuales del usuario, la colocación y ajuste del dispositivo deberá poder ser realizado por la misma persona. La prótesis se deberá adaptar a la variabilidad dimensional de cada persona y los materiales no invadirán a la persona, en cambio, aportarán confortabilidad al usar.

Conociendo la oferta de dispositivos protésicos en la actualidad, el diseño deberá apelar a la consideración balanceada entre aspectos tanto funcionales como formales y a la disipación de asociaciones preestablecidas sobre esta clase de dispositivos médicos a través de mensajes estético-simbólicos que permitan al usuario conferir cierta significación positiva.

Función

¿Qué deberá hacer?	Facilitar movimientos de flexión-extensión en conjunto con los demás dedos.
¿Cómo lo deberá hacer?	A través de distintas adaptaciones posicionales que permita realizar patrones funcionales prensiles palmares y digitales.
¿Dónde lo deberá hacer?	Presente en las actividades cotidianas de una persona económicamente activa.
¿Con qué frecuencia?	Sometida a uso constante, todos los días, y según las actividades y exigencias particulares de cada usuario.
¿Qué deberá resistir?	Fuerzas de actividades generales tras la manipulación fina y gruesa de objetos.

Fig 63. PDP Función (Elaboración propia)

Estética

¿Qué deberá satisfacer?	Gustos y estilos particulares de cada individuo que intervengan la apariencia formal del dispositivo.
¿Qué deberá proyectar?	Accesorio de carácter médico y personal para cada usuario.

Fig 64. PDP Estética (Elaboración propia)

Ergonomía

¿Qué tan usable deberá ser?	Permitir una sujeción satisfactoria que facilite el montaje y desmontaje, además de movimientos naturales de la mano que restauren sensaciones de autonomía.
¿Qué tan seguro deberá ser?	Dispositivo médico de colocación no invasiva, adaptada a la antropometría y movimientos articulares de cada usuario.
¿Cómo deberá usarse?	Por medio de la libertad de movimientos de oposición fijos mediante un ajuste activo que no influya en la autonomía del usuario.

Fig 65. PDP Ergonomía (Elaboración propia)

Con la premisa establecida respecto a la contextualización de la oferta del producto al mercado nacional, la producción del dispositivo deberá incrementar la asequibilidad y accesibilidad a través de los procesos de manufactura y el diseño paramétrico del dispositivo.

Mercado	
¿Qué ofrece la competencia?	Enfoques polarizados entre el realismo y funcionalismo en dispositivos protésicos con baja asequibilidad y accesibilidad por el principal usuario.
¿Qué se podrá mejorar?	El sentido de pertenencia y adaptación a prótesis íntimas que influyan en la recuperación física y emocional del usuario, además de mejorar el acceso y asequibilidad a estos.
¿Quién lo va a usar?	Personas adultas con amputación traumática en uno más dedos de la mano.
¿Quién lo va a comprar?	El mismo usuario quien es una personas (18-65 años) de clase socioeconómica media (nivel D+, C- y C+).

Fig 66. PDP Mercado (Elaboración propia)

Producción	
¿Con qué se va a producir?	Proceso de impresión tridimensional basado en la deposición de materiales plásticos.
¿Cómo se va a producir?	Organización de manufactura bajo procesos de fácil customización para cada producto.
¿Cuánto se deberá producir?	Demanda de prótesis para amputación de dedo baja y específica para cada usuario.

Fig 67. PDP Producción (Elaboración propia)

Especificaciones de diseño de producto (PDS)

Se determinaron las variables cuantitativas y cualitativas para la solución en cuanto a su función, estética, ergonomía y producción. Definiendo el aspecto a considerar, se estableció el factor determinante, determina como debe ser el diseño, y posteriormente el factor determinado, la especificación en el concepto de diseño por generar.

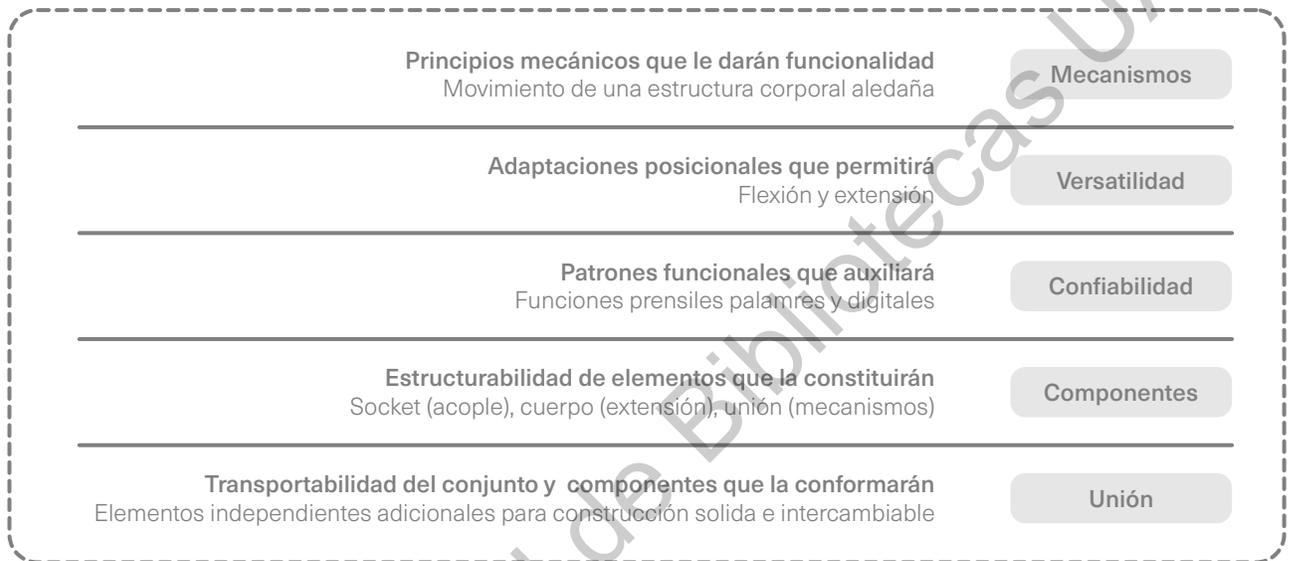


Fig 68. PDS Función (Elaboración propia)

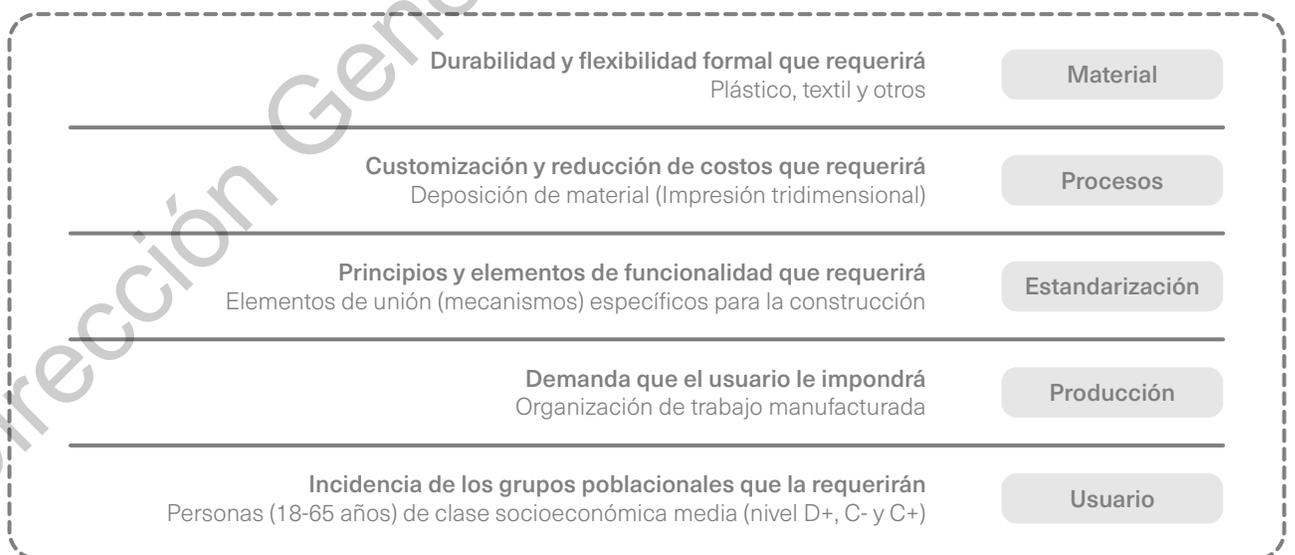


Fig 69. PDS Producción (Elaboración propia)



Fig 70. PDS Estética (Elaboración propia)

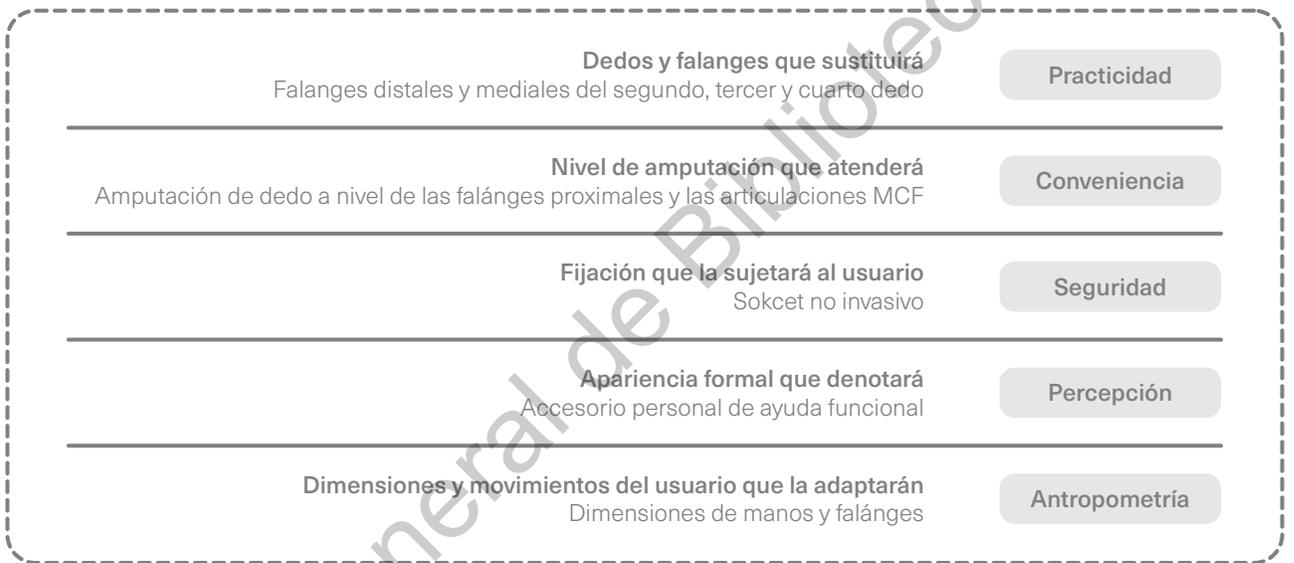


Fig 71. PDS Ergonomía (Elaboración propia)

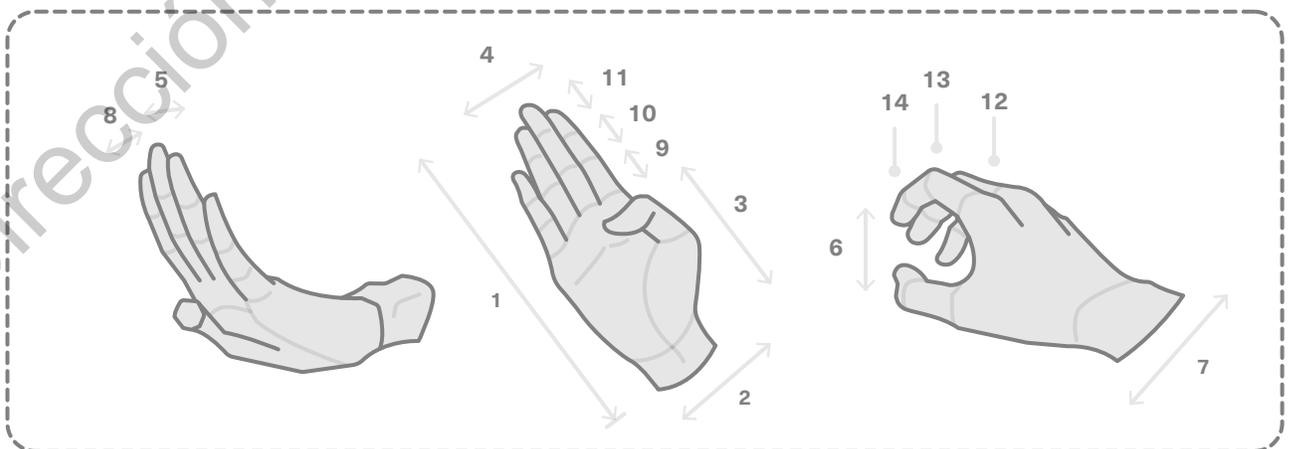


Fig 72. PDS Ergonomía: Antropometría I (Elaboración propia)

- 1 **Longitud de mano (160 - 200 mm)**
Longitud entre el dobléz más cercano a la región del metacarpo de la muñeca, al vértice del dedo medio
- 2 **Anchura de mano (80 - 110 mm)**
Distancia entre el borde externo del metacarpo al borde externo incluido el dedo pulgar
- 3 **Longitud palma de mano (90 - 120 mm)**
Distancia del dobléz más cercano a la región del metacarpo de la muñeca, a la base del dedo medio
- 4 **Anchura palma de mano (70 - 90 mm)**
Distancia comprendida entre el borde interno del metacarpo al borde externo del mismo
- 5 **Espesor de mano (20 - 30 mm)**
Distancia máxima entre el dorso y la palma de la mano (extendida) en la región metacarpiana
- 6 **Diametro de empuñadura (30 - 50 mm)**
Distancia máxima al completar un círculo con los dedos índice y pulgar de la mano derecha
- 7 **Diametro de mano (80 - 110 mm)**
Con el puño cerrado, la distancia máxima del puño en la región de los nudillos
- 8 **Diametro de dedo índice (20 - 20 mm)**
Diametro máximo del dedo índice de la mano
- 9 **Falanges proximales [2°: 30 mm / 3°: 35 mm / 4°: 30 mm / 5°: 23 mm]**
Distancia entre las articulaciones MCF y PIF de los dedos
- 10 **Falanges mediales [2°: 23 mm / 3°: 27 mm / 4°: 26 mm / 5°: 19 mm]**
Distancia entre las articulaciones PIF y DIF de los dedos
- 11 **Falanges distales [2°: 22 mm / 3°: 24 mm / 4°: 23 mm / 5°: 20 mm]**
Distancia entre las articulaciones DIF y el borde externo de los dedos
- 12 **Articulación metacarpofalángica (MCF) [Aducción: 20°/Abducción: 20°/Extensión: 30°/Flexión: 90°]**
Articulaciones de tipo elipsoidea creadas entre los metacarpianos y las falanges proximales
- 13 **Articulación interfalángica proximal (PIF) [Extensión: 0° / Flexión: 100°]**
Articulaciones de tipo troclear creadas entre las falanges proximales y mediales
- 14 **Articulación interfalángica distal (DIF) [Extensión: 10° / Flexión: 90°]**
Articulaciones de tipo troclear creadas entre las falanges mediales y distales

Fig 73. PDS Ergonomía: Antropometría II (Elaboración propia)

Conceptualizar

Planteamiento

Por medio de diagramas y mapas mentales se plasmó la información sintetizada con el fin de concretar ideas, mismas que marcaron la pauta de las decisiones futuras respecto al concepto de diseño por desarrollar.

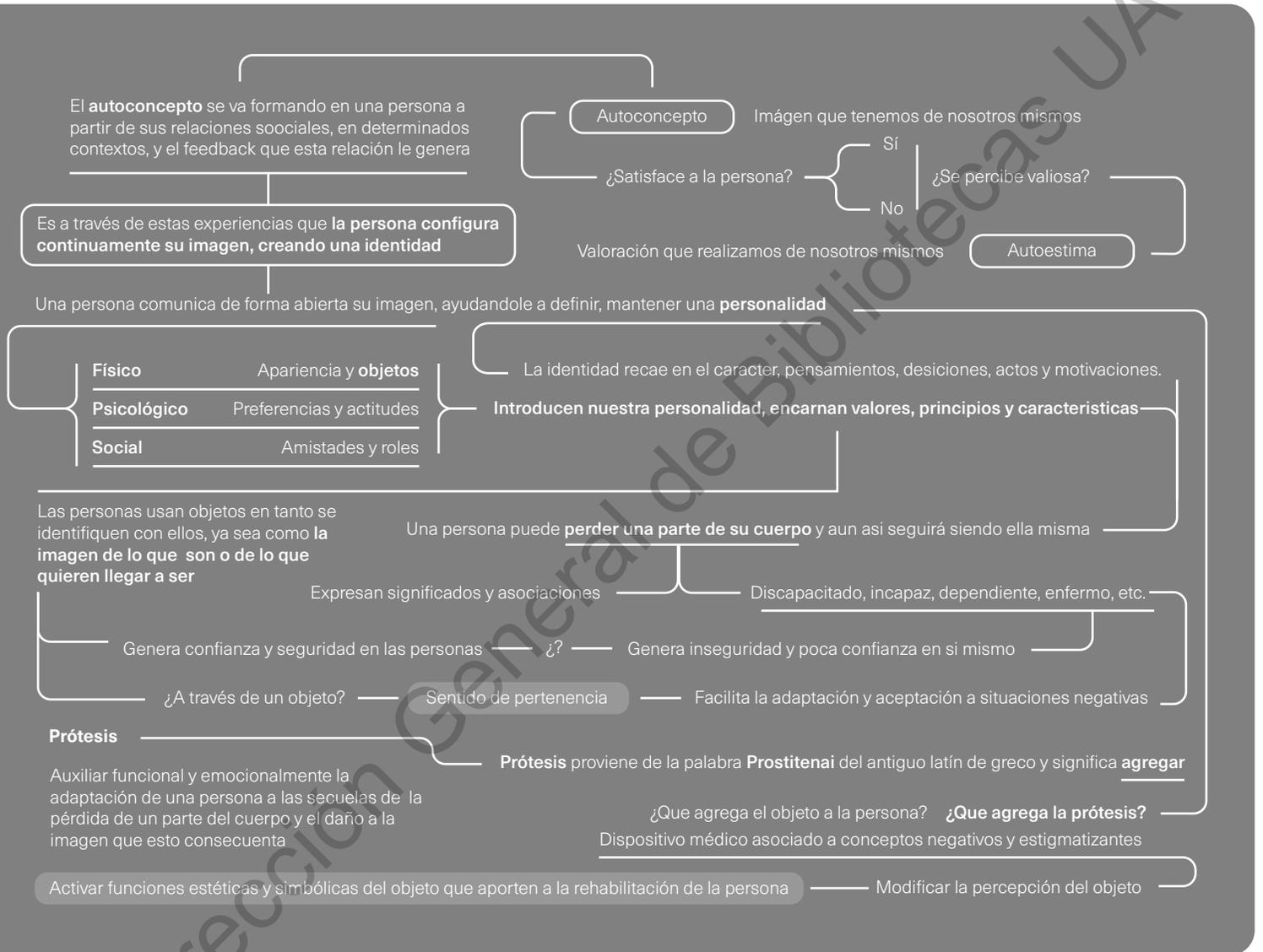


Fig 74. Fragmentación del problema y desarrollo de concepto (Elaboración propia)

La revalorización de una persona proviene de la seguridad y confianza que tengan en sí mismas, los objetos son elementos configuradores de la imagen que la persona va construyendo, de ahí que usen determinados objetos en tanto se identifiquen con ellos. Buscar un sentido de pertenencia hacia un dispositivo protésico deberá provenir de la apropiación de este, haciéndolo único y conferirle su propia personalidad plasmada en el objeto y sus características multifacéticas.

Desarrollo

Establecido el concepto de diseño, se dio paso al desarrollo de este a través de herramientas de representación visual como bocetos, modelos y prototipos.

Las manos son la principal referencia para el desarrollo del concepto. El diseño de la prótesis deberá contemplar un carácter visual antropomórfico que fluya y converja con la anatomía de las manos. Las dimensiones y formas de dichas regiones anatómicas son referentes para el surgimiento de ideas.

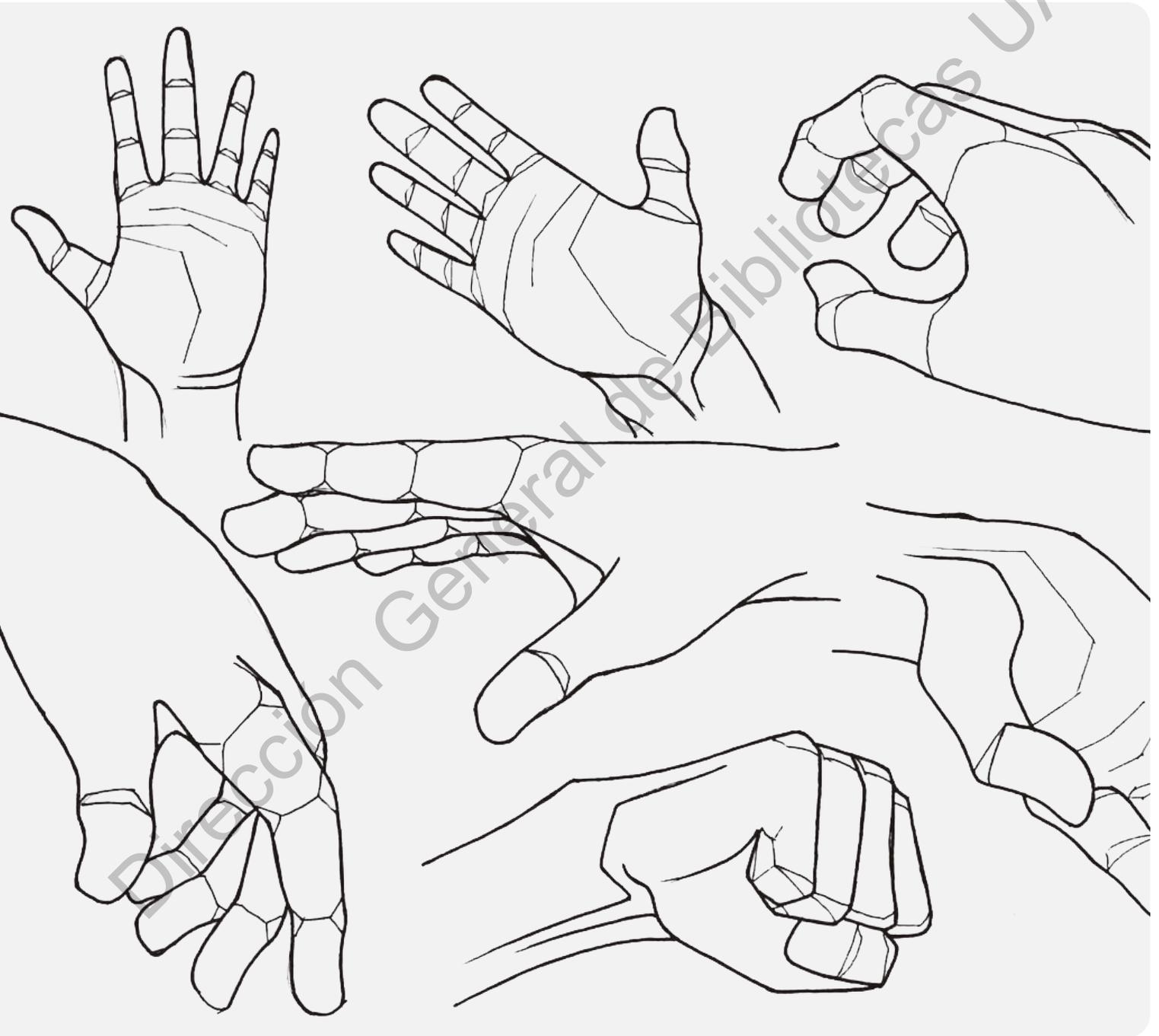


Fig 75. Bocetos: Manos (Elaboración propia)

De igual manera, considerar las variaciones presentes en las manos de los usuarios meta (con amputación falángica), es fundamental en el proceso de diseño y exploración de ideas encaminadas al carácter visual esperado del producto.

Las amputaciones en dedos de la mano se caracterizan por dañar la parte distal de dichos miembros anatómicos. La visualización y comprensión de la morfología de los muñones en las manos tras una amputación, ofrece referencias visuales para el desarrollo de la prótesis.

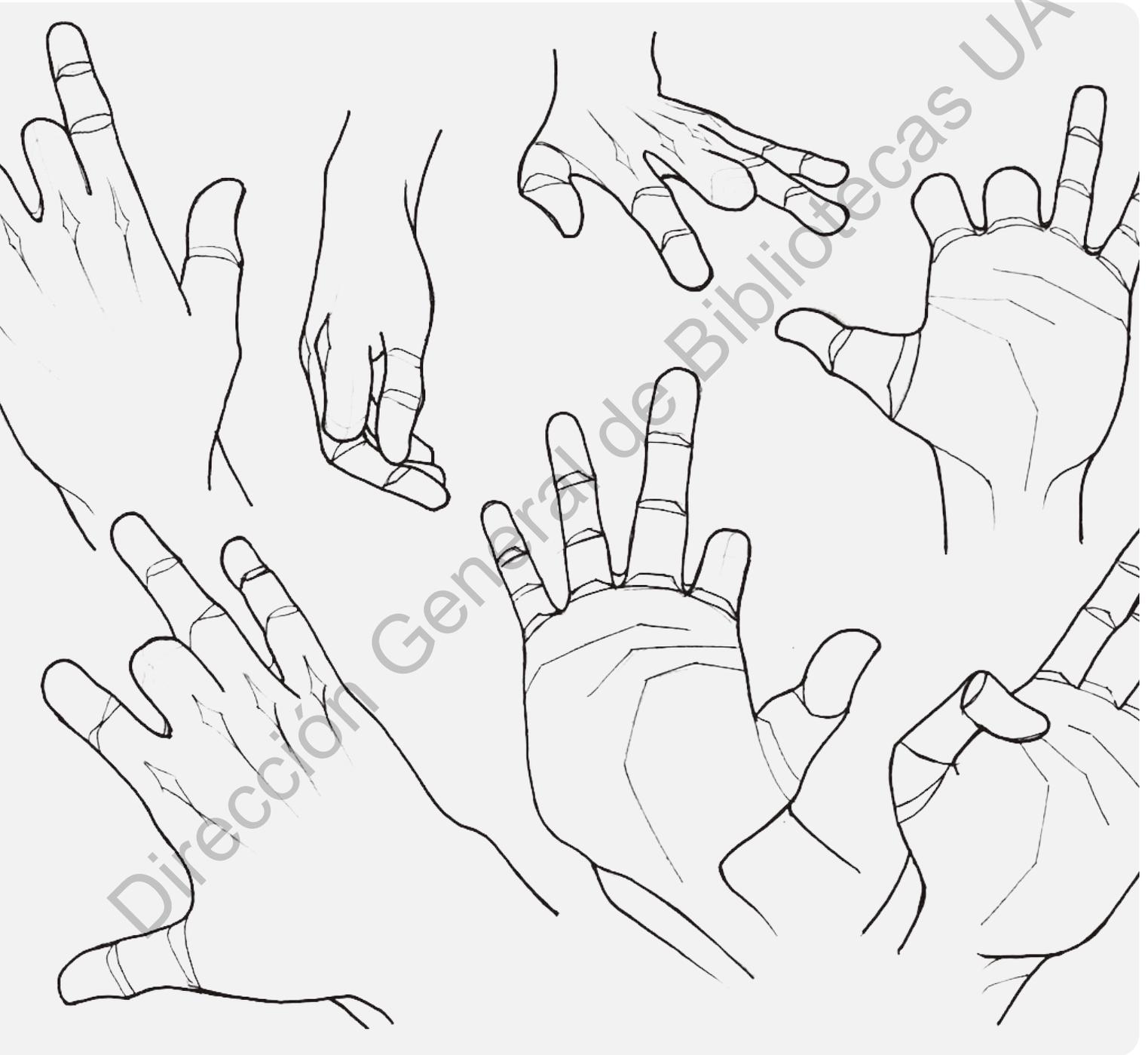


Fig 76. Bocetos: Manos con amputación en falanges (Elaboración propia)

Los tableros de imágenes como referencias visuales son elementos auxiliares en la formación del carácter estético buscado en las alternativas de diseño por crear, estableciendo la visión formal del producto a diseñar.



Fig 77. Tablero de imágenes: Carácter formal de productos (Elaboración propia)

Debido a las variables establecidas respecto a la función que el dispositivo protésico deberá realizar (pinzas motrices generales), se plantearon los escenarios posibles respecto a movimientos de flexión y extensión de las falanges.

Teniendo en cuenta los principales ángulos formados por las articulaciones de las falanges, se identificaron puntos de rotación específicos y distancias pertinentes en diferentes momentos de prensión. Además de bocetos, la revisión del funcionamiento se trabajó en modelos tridimensionales.

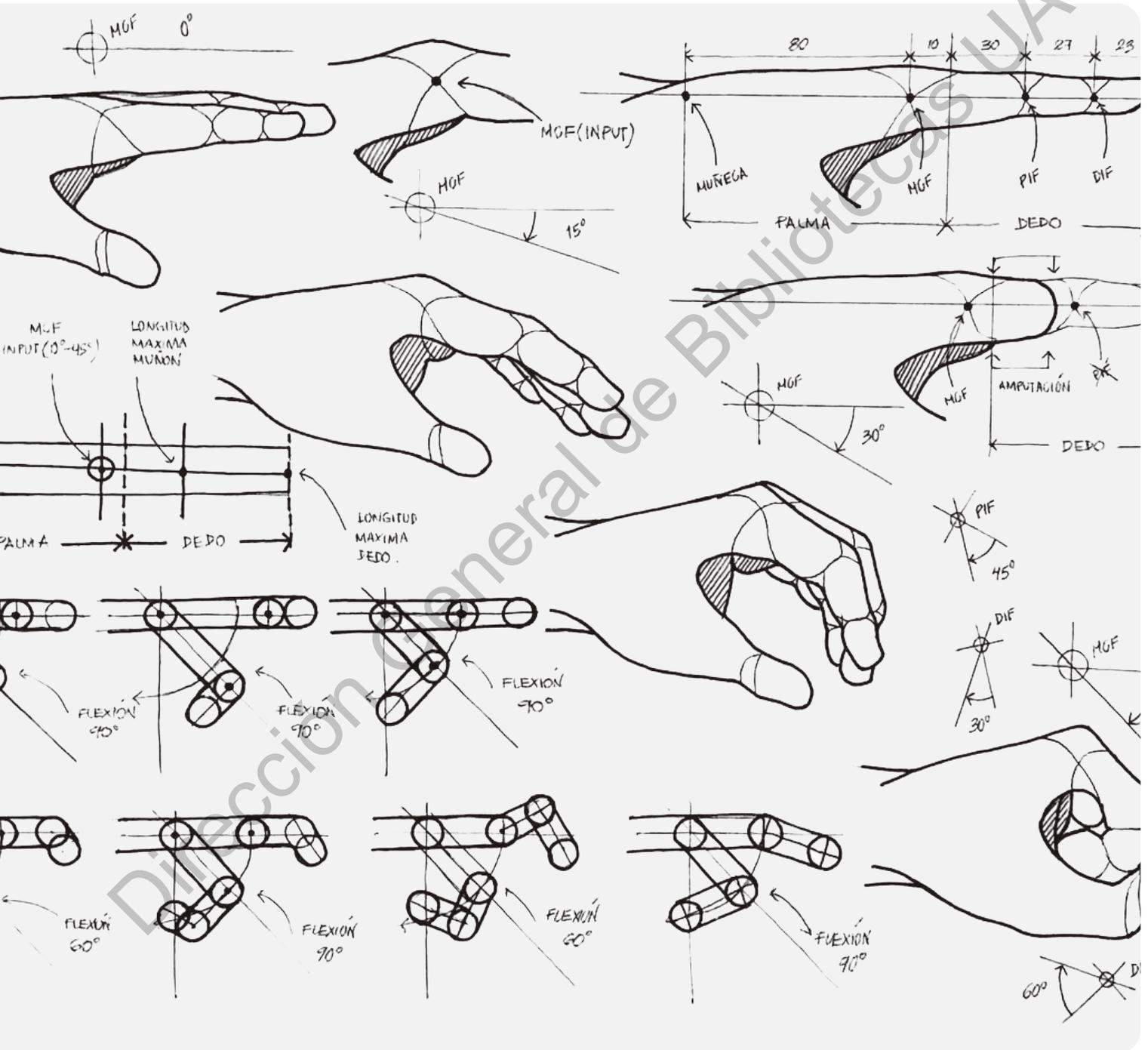


Fig 78. Bocetos: Función crítica (Elaboración propia)



Fig 79. Modelos: Función crítica (Elaboración propia)

Partiendo de la articulación MCP como principal generadora de movimiento, se ahondó en propuestas de diseño que aprovecharan dicha rotación y simularan la flexión y extensión correspondiente en el dispositivo, hasta ahora compuesto de un socket y dígito en la parte distal.

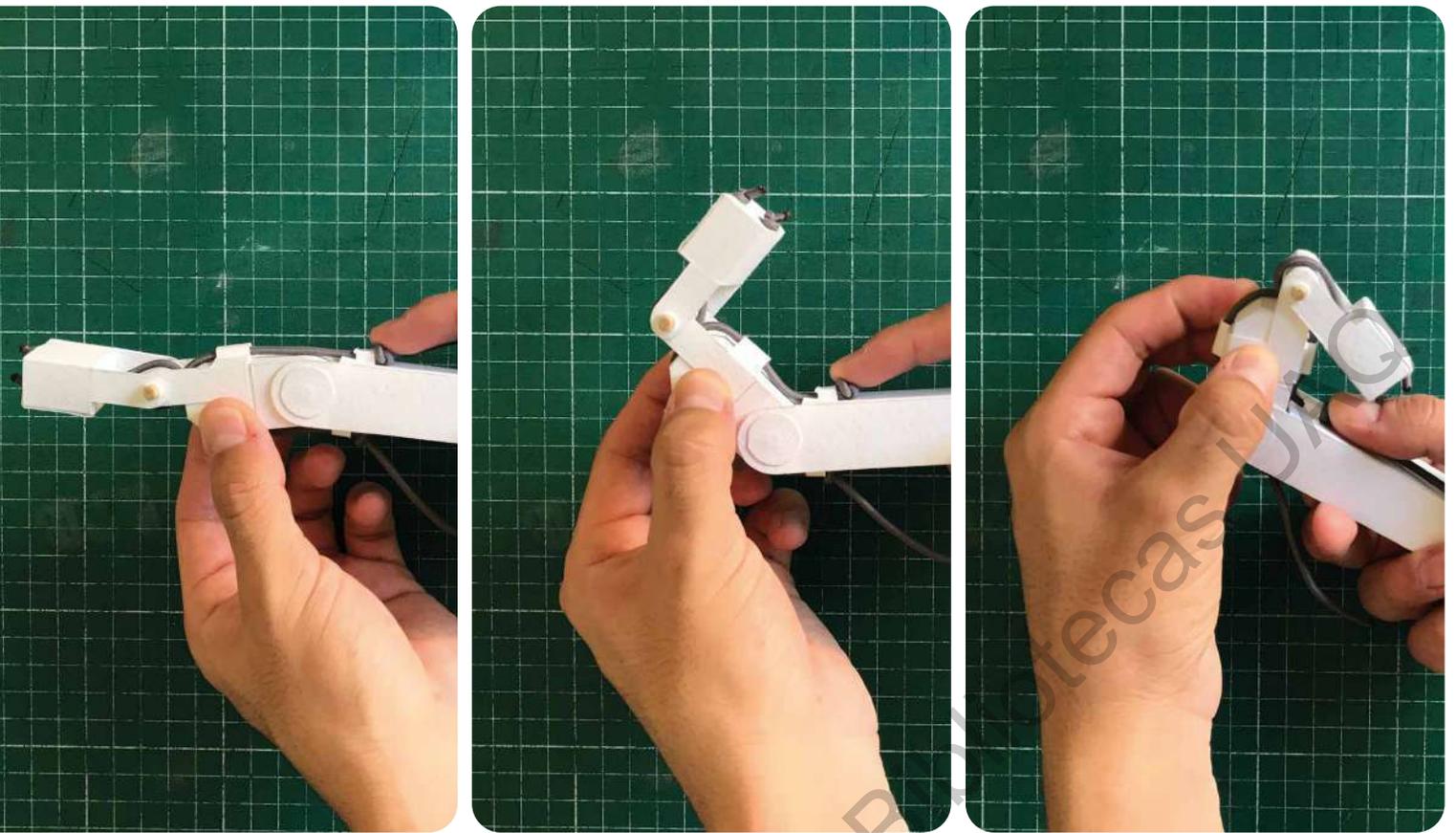


Fig 80. Modelos: Función crítica (Elaboración propia)



Fig 81. Modelos: Estética y características formales del producto (Elaboración propia)

Tras definir el mecanismo que diera movimiento y rotación al dispositivo, se trabajó en la forma de este, explorando siluetas que mantuvieran el carácter estético previamente estipulado. La idea consiste en focalizar el diseño a líneas y curvas simples que comunicaran los elementos de forma clara los elementos de la prótesis.

Se realizó mayor exploración en el diseño a detalle de los elementos, así como en las consideraciones que este debería contemplar con respecto al usuario, dimensiones longitudinales, diámetros, espesores, etc.

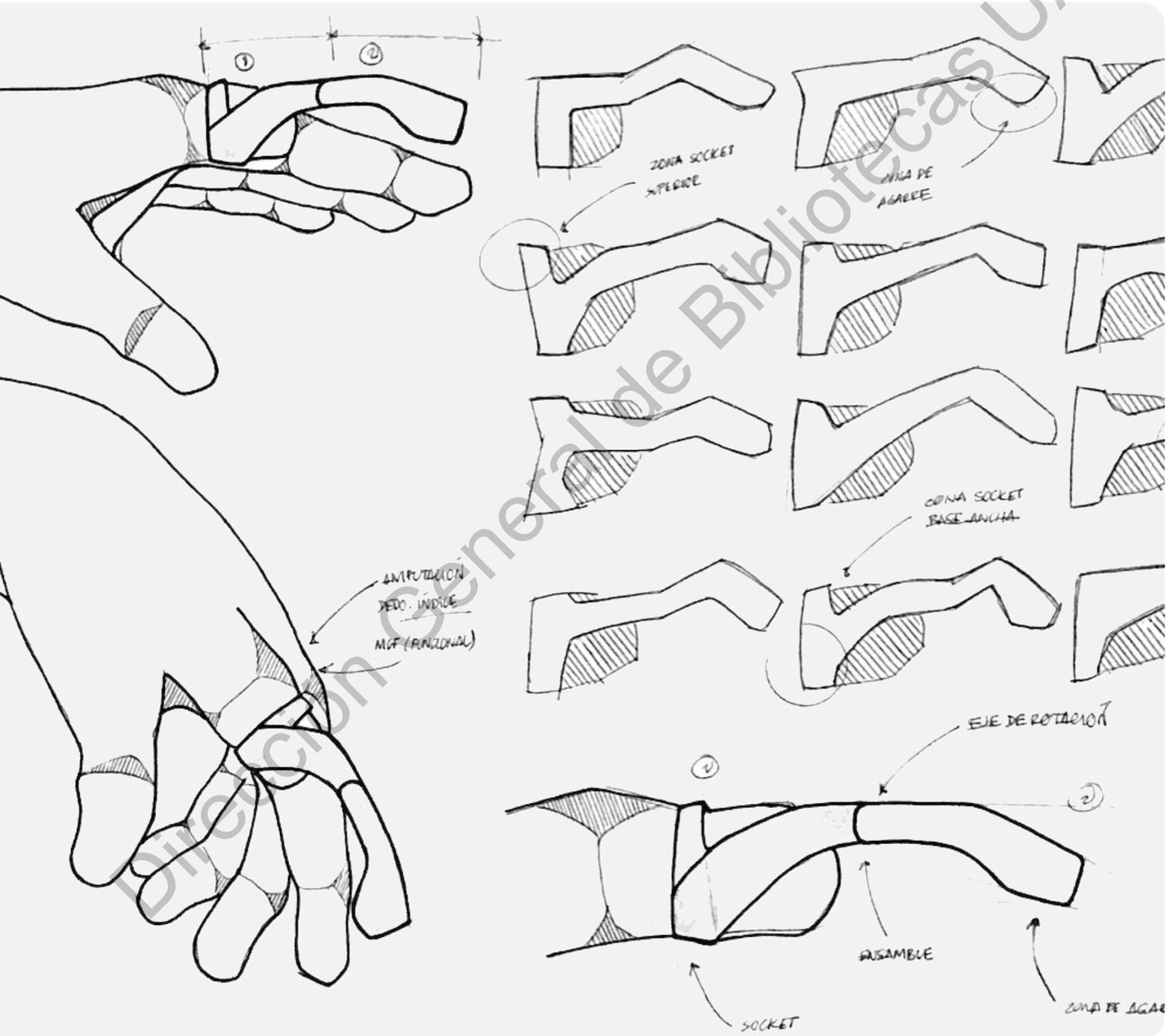


Fig 82. Bocetos: Estética y características formales del producto (Elaboración propia)

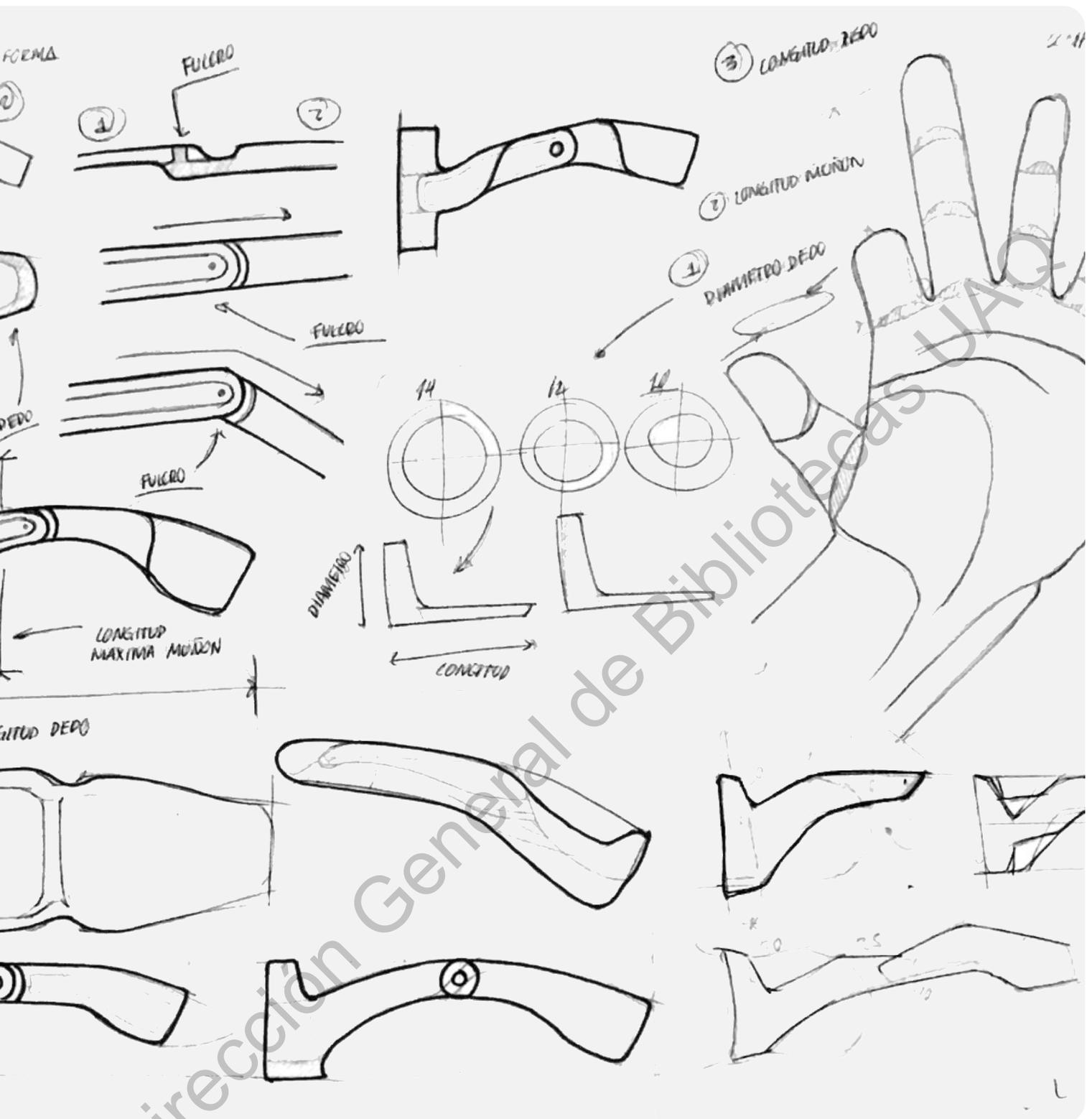


Fig 83. Bocetos: Componentes y mecanismos (Elaboración propia)

A través de modelos tridimensionales se exploraron las alternativas previamente desarrolladas en dibujos. Se evaluaron las propuestas de diseño apoyado de simulaciones anatómicas de manos con amputación en falanges, seleccionando aquellas que cumplieran con las especificaciones de diseño y respetaran el perfil del producto planteado.



Fig 84. Exploración de materiales: Piezas plásticas (Elaboración propia)



Fig 85. Exploración de materiales: Elásticos (Elaboración propia)



Fig 86. Exploración de materiales: Textiles (Elaboración propia)

Explorar con diversos materiales permitió identificar las cualidades y características ideales para cada elemento del dispositivo médico. Además de colores, texturas y acabados, los materiales se eligieron teniendo en cuenta los procesos de manufactura, buscando que no requieran constantes transformaciones desde la materia prima y procurando que los mismos pudieran ser ensamblados en el menor número de pasos posibles.

Propuesta

Tras un proceso de diseño iterativo, finalmente se propone como solución al problema identificado, un dispositivo protésico para personas con amputación menor a nivel de las falanges proximales en los dedos segundo, tercero o cuarto con articulación metacarpofalángica funcional, que apoye en la rehabilitación integral de la persona considerando tanto el impacto físico como emocional que este tipo de afecciones conllevan.

Buscando la adaptación y aceptación del individuo hacia las secuelas de una amputación, se propone un dispositivo médico que atienda de forma equilibrada ciertas funciones motrices perdidas en la mano y la baja autoestima reflejada en



Fig 87. Diseño final: Prótesis falángica (Elaboración propia)

sensaciones de inseguridad y negación que la persona experimenta posterior a un evento traumático. La prótesis como objeto que agrega y no solo reemplaza, además de sumar destreza y habilidades físicas, representa un instaurador de confianza y valor en el individuo.



Fig 88. Diseño final: Prótesis falángica (Elaboración propia)

Acortar la brecha entre dispositivo y persona por medio de una configuración objetual participativa, la persona le implantará identidad al dispositivo buscando generar un sentido de pertenencia sobre el objeto que formará parte de su imagen.



Fig 89. Diseño final: Prótesis falángica (Elaboración propia)

La pérdida de un miembro corporal genera cierto grado de discapacidad que a su vez impacta en la percepción de valor que la persona afectada tiene de sí misma.

La limitación funcional que experimenta la persona, los cambios en su entorno y las aversiones o estigmas comunes que esto engloba son factores detonantes en daños emocionales importantes de atender.



Fig 90. Diseño final: Prótesis falángica (Elaboración propia)

En respuesta a la brecha polarizada entre prótesis funcionales y cosméticas que se ofertan a las personas con amputación en dedos de la mano, se plantea una alternativa que auxilie la rehabilitación integral del individuo a partir de la consideración y aprovechamiento conjunto de las funciones tanto prácticas, como estéticas y simbólicas que el objeto es capaz de realizar.

Funcionamiento

La prótesis facilita la realización de movimientos flexión-extensión moderados que apoyen los patrones prensiles cotidianos en conjunto con las demás falanges y palma de la mano afectada tras una amputación.

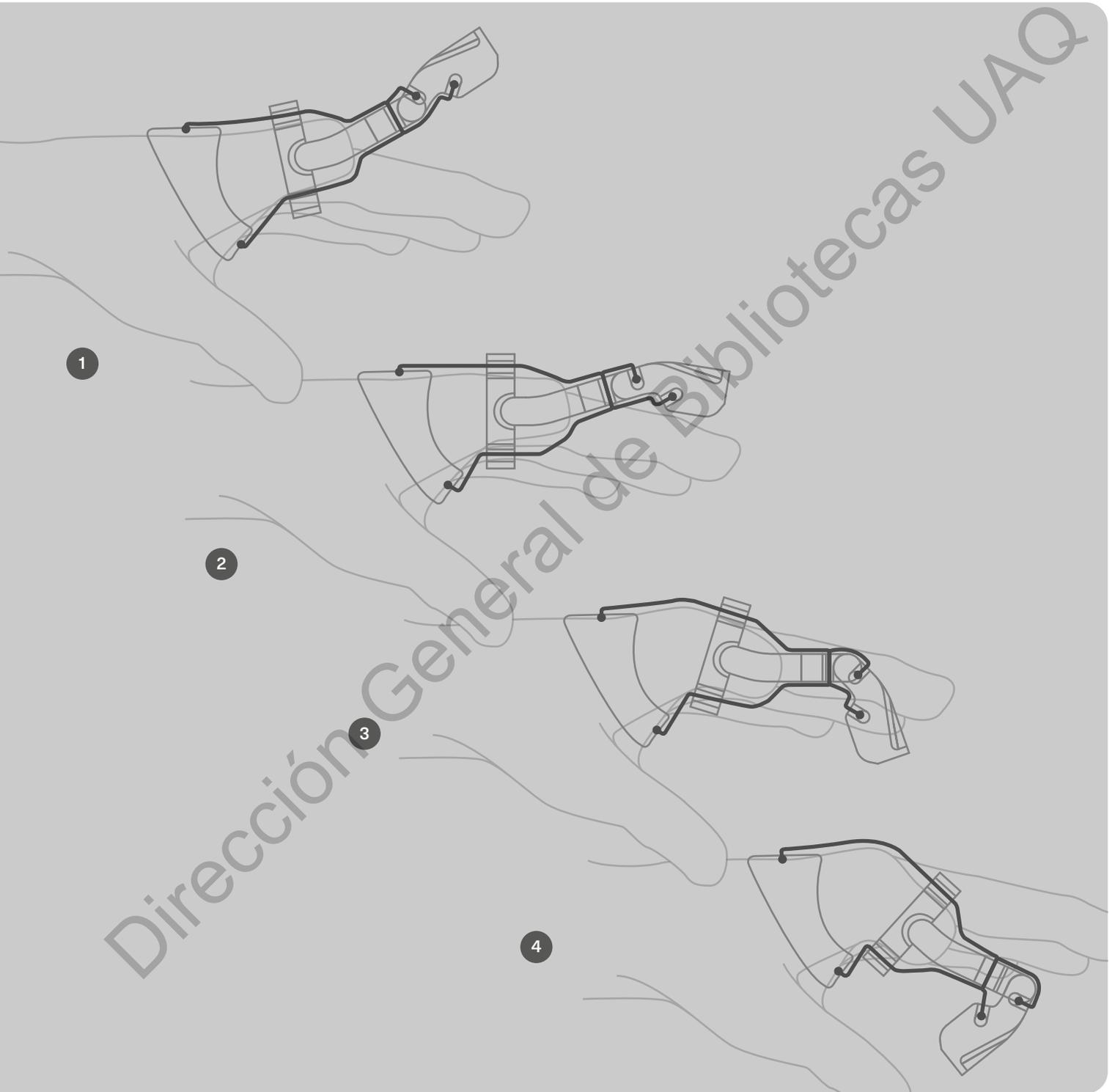


Fig 91. Funcionamiento de la prótesis: Flexión y extensión (Elaboración propia)

Mediante el movimiento natural de la articulación MCF del dedo amputado y tensores sujetos al brazalete, el dispositivo se flexiona y extiende por medio de un eje transversal que ensambla el socket y dígito de la prótesis.

Componentes

La manufactura del dispositivo contempla la impresión tridimensional para las piezas más robustas de la prótesis, siendo estas de material plástico fáciles de dar distintos acabados. Aunado a lo anterior este tipo de proceso facilita el diseño

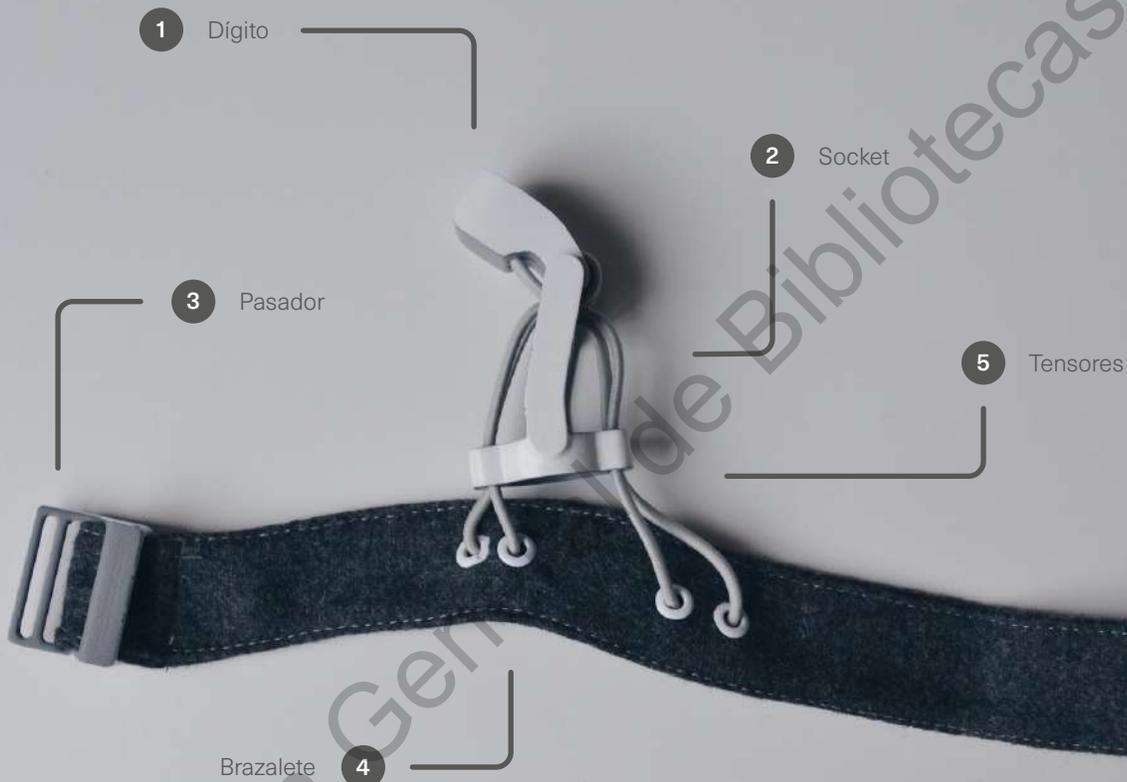


Fig 92. Componentes del dispositivo protésico (Elaboración propia)

centrado en el usuario que se requiere para cada dispositivo, parametrizando variables en un modelo CAD que agilicen el proceso de diseño y fabricación de la prótesis falángica. Los demás componentes se plantearon en materiales caracterizados por un lenguaje visual opuesto a aquellos comúnmente utilizados en dispositivos protésicos. Se utilizaron textiles en el brazalete (lana natural 20% + poliéster 80%), y en los tensores (material elástico recubierto de poliéster) que modifican la comunicación y percepción del producto.



Fig 93. Componentes del dispositivo protésico (Elaboración propia)

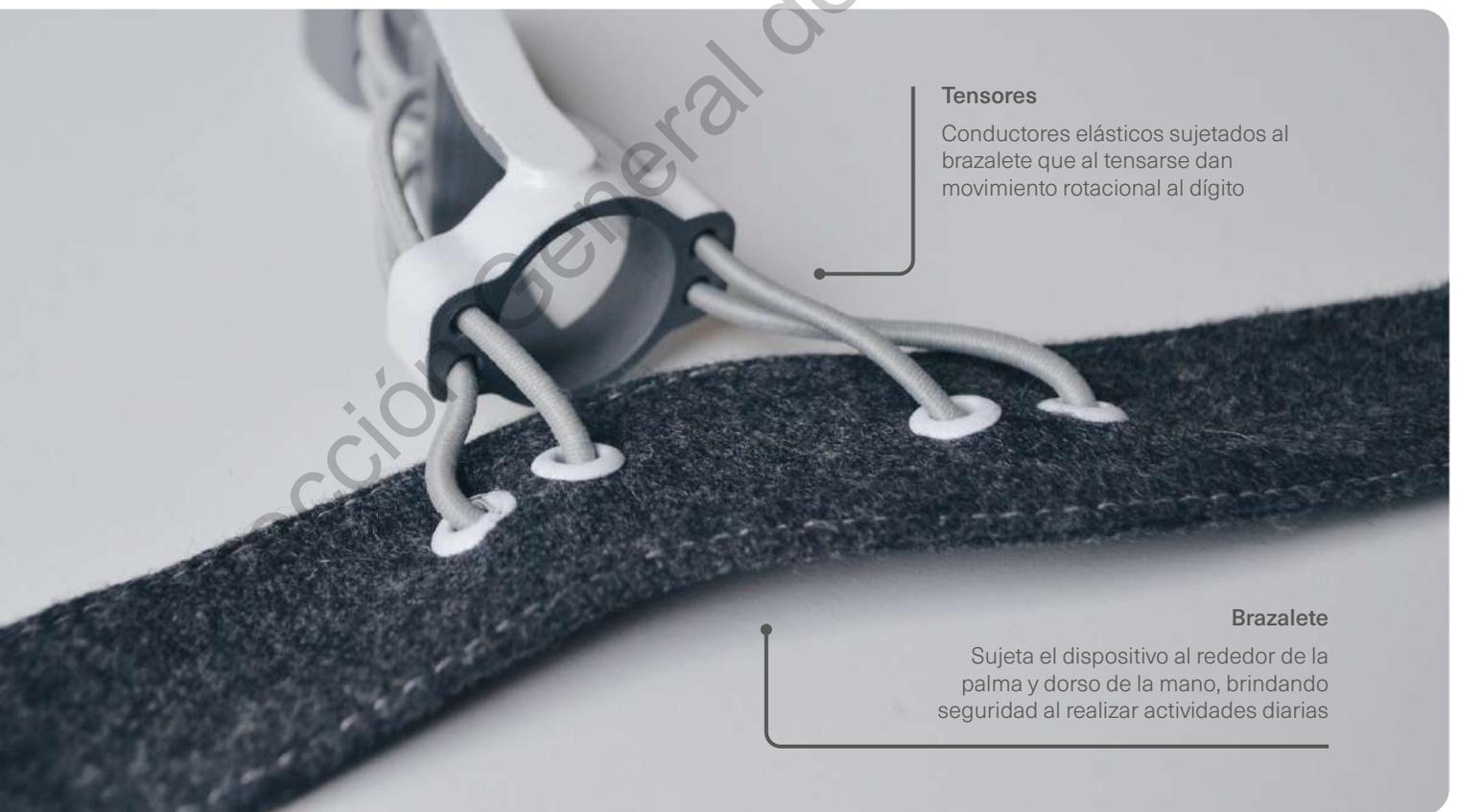


Fig 94. Componentes del dispositivo protésico (Elaboración propia)

Configuración

Como parte de la solución propuesta se plantea una etapa pre-protésica que permite a la persona participar activamente en la configuración del dispositivo, no solo para recopilar las consideraciones dimensionales, sino que también la apariencia formal y estilística del objeto.

Los parámetros dimensionales del usuario conforman la primera fase de la etapa pre-protésica. Se obtienen los datos personales del usuario y ciertas dimensiones necesarias para ajustar el dispositivo a su cuerpo.



Fig 95. Etapa pre-protésica: Dimensiones y datos del usuario (Elaboración propia)



Fig 96. Etapa pre-protésica: Talla del dispositivo (Elaboración propia)

En la segunda fase de la etapa pre-protésica el usuario determinará ciertas características formales de los componentes del dispositivo. Seleccionando ciertas características que definirán y personalizarán la apariencia final de la prótesis.



Fig 97. Etapa pre-protésica: Estética del dispositivo (Elaboración propia)



Fig 98. Etapa pre-protésica: Estética del dispositivo (Elaboración propia)



Mostrario de diferentes colores para el socket y dígito de la prótesis

Porciones de colores pueden ser montados en la muestra previamente armada del textil y elástico

Fig 99. Etapa pre-prótesis: Estética del dispositivo (Elaboración propia)

Usabilidad

El dispositivo protésico permite al usuario realizar actividades cotidianas en donde se requiera ejercer pinzas motrices gruesas radiales y prismáticas, así como aquellas de oposición en conjunto con el pulgar y las demás falanges de la mano.



Fig 100. Dispositivo en contexto con el usuario (Elaboración propia)



Fig 101. Dispositivo en contexto con el usuario (Elaboración propia)

La prótesis propone mejorar la experiencia de uso comparativamente respecto a la oferta en dispositivos de esta clase, comúnmente cargados hacia extremos funcionales o cosméticos.

El diseño propone equilibrar connotaciones adheridas al grupo de objetos para personas con discapacidad aprovechando atributos estéticos y simbólicos al dar la flexibilidad de personalizar y comunicar cierta identidad de la persona por medio del producto, generando distintas percepciones y respuestas en el usuario, cambiando el significado, y apoyando el proceso de rehabilitación integral que busca la adaptación a secuelas tanto emocionales como físicas tras una amputación traumática.

Dirección General de Bibliotecas UAO

Implementar

Haciendo tangible la propuesta conceptual, se evaluó el diseño de prótesis falángica de miembro superior por medio de prototipos, validando y obteniendo conclusiones que permitan determinar oportunidades hacia futuras investigaciones.

Evaluar

Validación

Partiendo del problema identificado respecto a la limitación que las prótesis tienen al atender secuelas psicológicas, de autoestima e identidad en personas con amputación dentro de un proceso de rehabilitación; la validación de la propuesta conceptual de diseño se concentró en factores hedónicos, es decir las necesidades psicológicas y sociológicas que los productos buscan satisfacer en los individuos, el ser y pertenecer desde un plano individual y subjetivo.

La propuesta se evaluó midiendo la experiencia del usuario al interactuar con el dispositivo médico diseñado, específicamente las percepciones y respuestas de la persona al observar el producto antes de usarlo. La idea es poder comprobar si la propuesta de diseño es pertinente para dar solución al problema identificado.

Se planteó comprobar si el dispositivo médico aporta de forma positiva o negativa en la búsqueda por satisfacer dichas necesidades individuales de identidad y aceptación, como parte de la rehabilitación integral que las personas con amputación traumática requieren. Las aportaciones negativas son aquellas que contribuyen a la estigmatización de las personas con discapacidad por medio de estereotipos de incompetencia, fragilidad, dependencia, etc. Mientras que las aportaciones positivas navegan en contra del estigma asociado a las personas con discapacidad, fomentando en su lugar ideas de competitividad, fuerza e independencia (Costa Lopes & Renato, 2018).

El experimento auxilió a identificar el significado que el objeto transmite al usuario por medio de ciertas connotaciones. En este caso, y basado en el método de significados a través de asociaciones de palabras, las connotaciones se expusieron a través de campos semánticos, y que para el enfoque de esta validación se agruparon en dos polos opuestos, uno orientado al significado estigmatizante de las personas con discapacidad, y el otro de forma contraria orientado a un dispositivo anti estigmatizante.

Posteriormente, al analizar la relación entre diferenciales semánticos, se midió la fuerza entre connotaciones al colocar escalas en cada par dicotómico de los campos semánticos (estigmatizante y no estigmatizante), mapeando el significado del producto de forma fácil de interpretar y evaluar.

Cuando el dispositivo protésico connota conceptos negativos, que aporten al estigma de las personas con discapacidad, contribuye a una rehabilitación incompleta, que ignora o incluso incrementa el daño emocional causado por la condición de salud del individuo tras una amputación traumática. Por lo contrario, si el producto connota un significado de valor, competencia e independencia, contribuirá satisfactoriamente a la rehabilitación integral, ya que el dispositivo

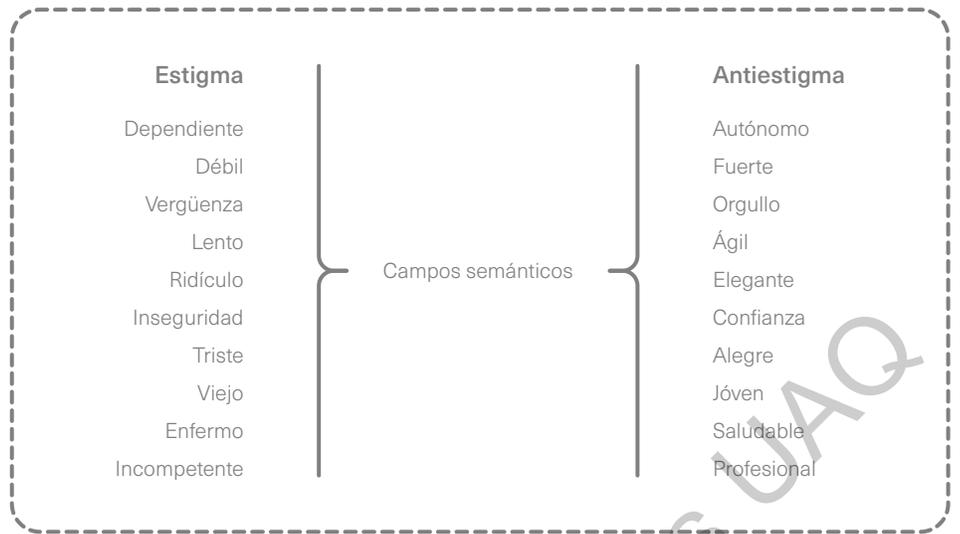


Fig 102. Campos semánticos [Elaboración propia (Costa Lopes & Renato, 2018)]

protésico es consciente y trabaja en la identidad, autoestima y bienestar emocional del individuo.

Para el experimento, la encuesta aplicada mostró tres productos, la propuesta del dispositivo protésico diseñado, y dos productos más que representarían la oferta convencional, un dispositivo funcional y otro cosmético, esto con el objetivo de evaluar la propuesta de forma comparativa con las soluciones existentes.

Los productos se mostraron a los entrevistados de forma aleatoria dentro de un formato similar y con discreta aparición del usuario para contextualizar cada imagen. Después se pidió que asignaran un valor a cada par dicotómico de

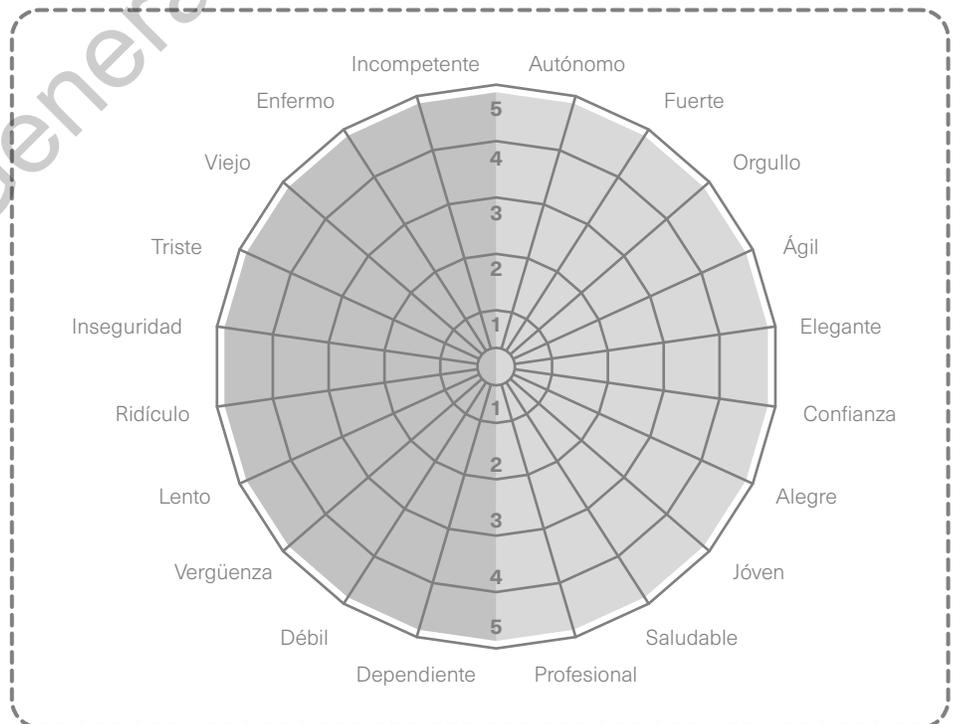


Fig 103. Métrica de evaluación [Elaboración propia (Costa Lopes & Renato, 2018)]

palabras según las percepciones que el dispositivo médico les comunicara.

En total se conformó de 10 pares de palabras opuestas, del lado izquierdo las del campo semántico que aporta negativamente a los estereotipos de discapacidad,

Análisis semántico de producto Prótesis falángica de miembro superior

Ingresar tus datos y realiza el ejercicio de observación y análisis que se describe a continuación

Sexo	Masculino <input type="checkbox"/>	Edad	18 - 25 <input type="checkbox"/>	41 - 48 <input type="checkbox"/>
	Femenino <input type="checkbox"/>		26 - 32 <input type="checkbox"/>	49 - 56 <input type="checkbox"/>
	Otro <input type="checkbox"/>		33 - 40 <input type="checkbox"/>	57 - 65 <input type="checkbox"/>

Observa los siguientes dispositivos protésicos para personas con amputación traumática en falanges de la mano. Asigna un solo valor (encierra el número) en cada par de palabras según lo que te transmita cada dispositivo protésico

	+	-	+									
Dependiente	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	Autónomo
Débil	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	Fuerte
Vergüenza	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	Orgullo
Lento	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	Ágil
Ridículo	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	Elegante
Inseguridad	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	Confianza
Triste	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	Alegre
Viejo	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	Jóven
Enfermo	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	Saludable
Incompetente	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	Profesional

Fig 104. Formato de entrevista [Elaboración propia (Weschenfelder, 2021)]

y del lado derecho el campo de palabras que contrarresta dichos estereotipos. Entonces si las respuestas de los entrevistados se cargan hacia el lado izquierdo o derecho denotan si contribuyen negativa o positivamente al individuo respecto a su aceptación y adaptación, marcando una postura inicial sobre la experiencia del usuario en tanto interactúe con el dispositivo.

La edad de los entrevistados (N=28) rondó entre los 18 y 40 años, siendo el 70%

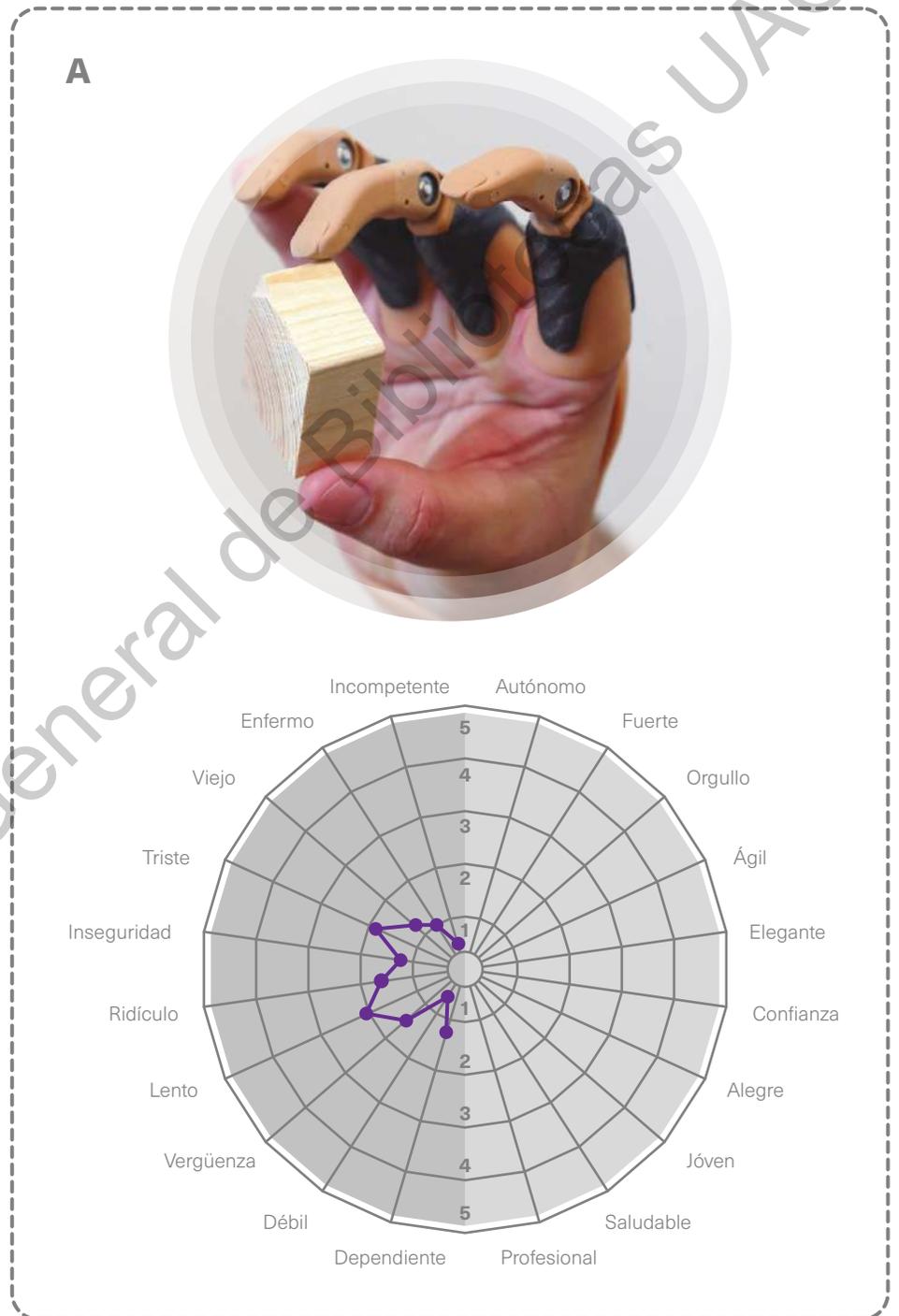


Fig 105. Análisis semántico de producto: Prótesis funcional (Elaboración propia)

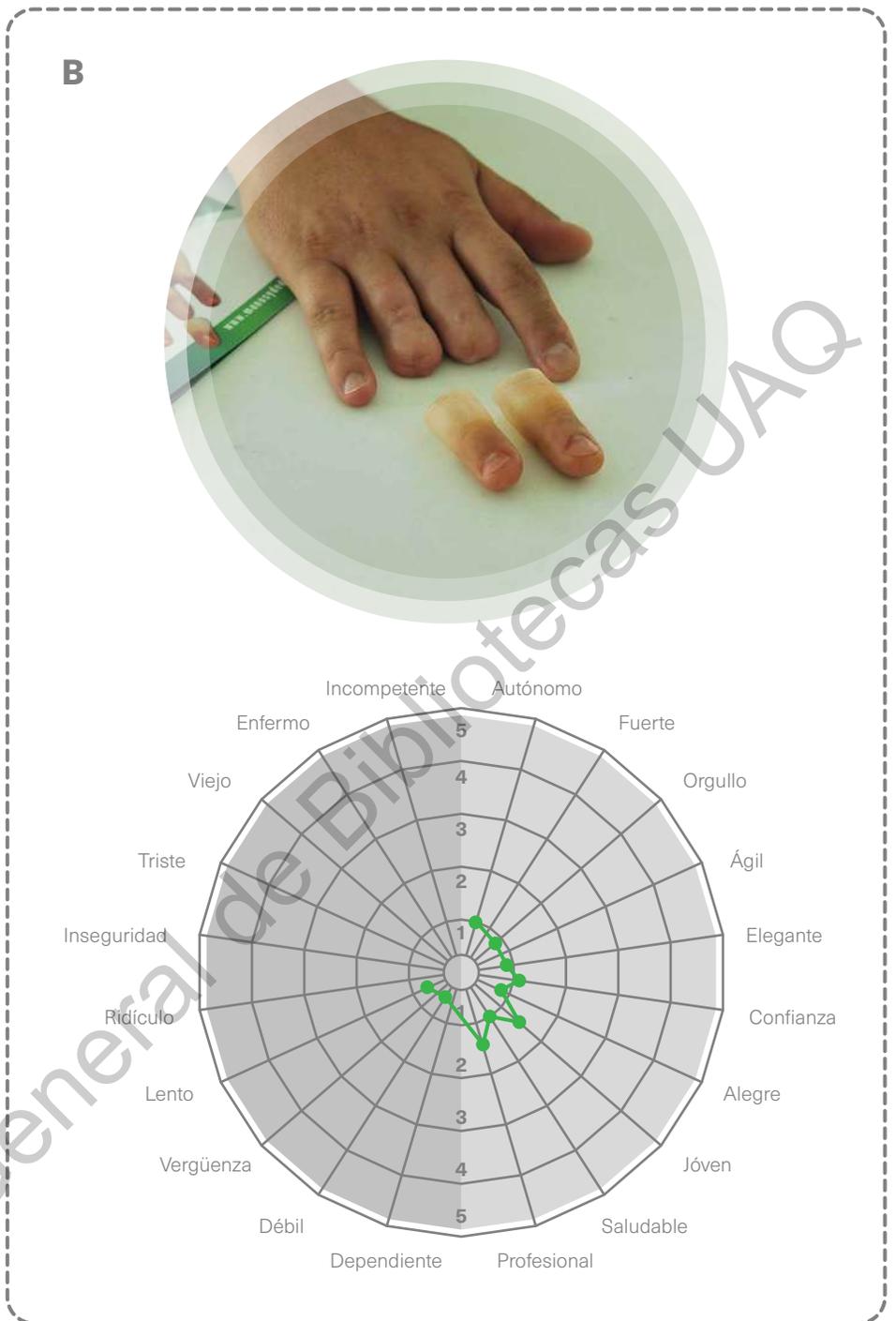


Fig 106. Análisis semántico de producto: Prótesis cosmética (Elaboración propia)

hombres y 30% mujeres. Para visualizar los resultados, las figuras (104, 105 y 106) muestran las imágenes de los dispositivos protésicos observados y sus respectivos análisis semánticos resultantes tras el experimento.

En el producto A, dispositivo funcional, se observan connotaciones negativas cargadas al lado izquierdo del diagrama radial, en donde se destacan las palabras "lento" (22%) y "triste" (18%). En contraste, el dispositivo cosmético (B) muestra connotaciones mayormente positivas cargadas al lado derecho, destacando "profesional" (18%), "joven" (15%) y "confianza" (12%) como las palabras con mayor

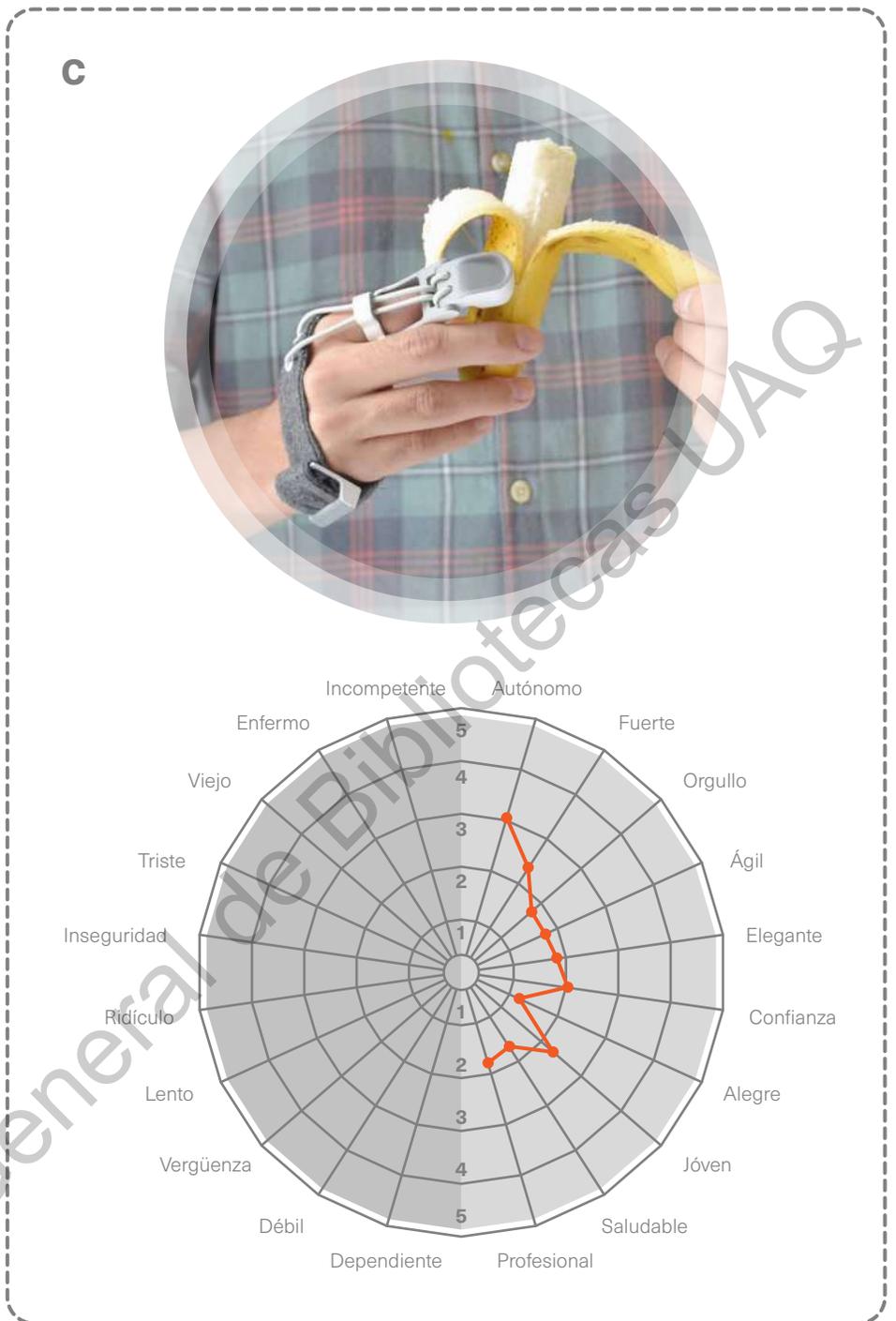


Fig 107. Análisis semántico de producto: Diseño final de prótesis (Elaboración propia)

repunte. Sin embargo, también se presentan connotaciones negativas asociadas con las palabras "débil" (8%) y "lento" (6%).

Por último, la propuesta de diseño desarrollada (C) demuestra en su análisis connotaciones positivas por completo, a través de palabras como "autónomo" (31%), "joven" (24%) y "confianza" (21%).

4. Resultados

Finalmente, tras realizar la implementación y ejercicios de validación, se determina que la propuesta de diseño del dispositivo protésico, preconfigurada desde una perspectiva híbrida respecto a la oferta del mercado, aporta herramientas satisfactorias para el individuo según las connotaciones y respuestas iniciales percibidas como parte de la experiencia del usuario al interactuar con el producto.

La prótesis es un objeto históricamente conocido como aquel elemento enteramente funcional que llena el vacío expuesto tras la pérdida de una extremidad o miembro corporal, sin embargo, también es un objeto portador de mensajes estético-simbólicos relevantes en su papel como dispositivo médico medular en la regeneración de un estado óptimo de salud tras una amputación.

Los resultados de la investigación comprueban la hipótesis inicial, ya que al considerar la función estética a través de los factores objetuales del producto, forma, textura, materiales, acabados, y la función simbólica, qué y a quién el producto representa, hacen que el dispositivo protésico influya satisfactoriamente en la experiencia del usuario, en esta etapa inicial, mejorando la percepción y connotación del producto, aportando valor, identidad y bienestar a la persona que lo use, así como incrementando su grado de usabilidad, comparativamente con la oferta polarizada de dispositivos que se ofertan, y respecto a su participación activa dentro de procesos de rehabilitación integrales que auxilien secuelas físicas y psicológicas a la vez.

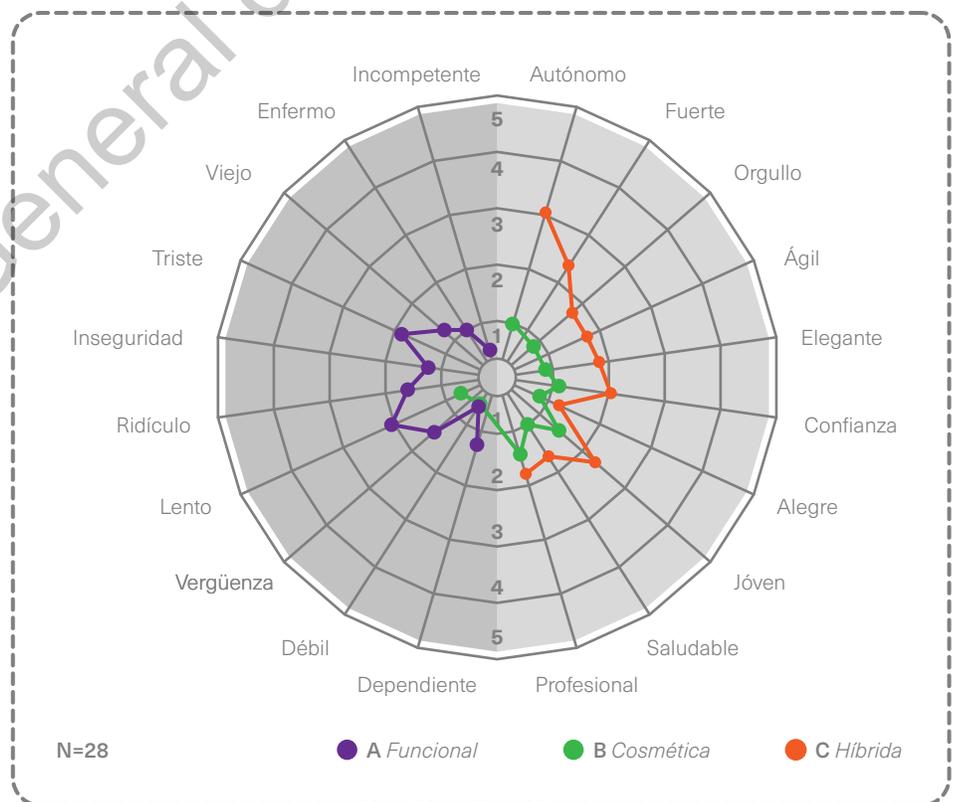


Fig 108. Resultados del experimento (Elaboración propia)

Conclusiones

Tras concluir la presente investigación, los resultados obtenidos en la validación proporcionan evidencia a favor de la hipótesis planteada en un inicio. El diseño del dispositivo protésico considerando cualidades internas y externas del producto, funciones prácticas estéticas y simbólicas, aporta satisfactoriamente al usuario, y su experiencia al interactuar con el dispositivo médico, sugiriendo así mejoras orientadas al proceso de rehabilitación tras la pérdida de un miembro corporal tal es el caso de las amputaciones traumáticas.

Desde una perspectiva del diseño, y mediante métodos de identificación, análisis y síntesis de la problemática definida, fue posible establecer especificaciones y requerimientos encaminados al desarrollo de alternativas competentes en cuanto a dispositivos protésicos, teniendo a consideración la factibilidad, viabilidad y deseabilidad del producto final.

El análisis multifactorial de las prótesis y equipo médico de ayuda ofertado en el mercado aportó a la estructura y construcción del perfil de diseño de un producto robusto y capaz de responder como solución ante el problema identificado respecto a la polarización de prótesis funcionales y cosméticas. Del mismo modo, y como parte del proceso metodológico usado, la evaluación del diseño final, acotada a factores ergonómicos del dispositivo médico, representa una herramienta utilitaria para la exploración, en términos de usabilidad, de niveles y valoraciones en cuanto las percepciones y respuestas del usuario hacia determinado producto.

En México, así como en países en vías de desarrollo, la generación de soluciones a partir del diseño de productos para la prevención, atención o tratamiento de condiciones, deficiencias o enfermedades no solo debe volver eficientes los servicios de salud, o bien incrementar su efectividad, sino que también concentrar sus esfuerzos tanto en la dignificación de las personas como en la búsqueda imperante de una mejor calidad de vida.

5. Referencias

Bibliografía

Academia Nacional de Medicina de México. (2014). Los accidentes como problema de Salud Pública en México. (M. Híjar Medina, Ed.) México: Intersistemas.

Academia Nacional de Medicina de México. (2016). Los amputados y su rehabilitación. Un reto para el Estado. (E. Vela Sánchez, Ed.)

Academia Nacional de Medicina de México. (2016). Trauma: un problema de salud en México. (M. Díaz de León Ponce, A. Basilio Olivares, F. Cruz Vega, & J. Briones Garduño, Edits.) México: Intersistemas.

Arias, L. (2012). Biomecánica y patrones funcionales de la mano. *Morfología*, 4(1), 14-23.

Biel, A. (2009). Guía Topográfica del cuerpo humano. Badalona, España: Paidotribo. Obtenido de <http://www.paidotribo-ebooks.com>

Buchanan, R. (1999). Design research and the new learning. 17(4).

Buchanan, R. (2001). Human dignity and human rights: toward a human-centered framework for design. *Design Issues*, 17(3).

Centro Nacional de Rehabilitación. (2016). *Revista Cubana de Medicina Física y Rehabilitación*.

Chuvacastillo, P. (2016). Desarrollo de la motricidad fina a través de técnicas grafoplásticas en niños de 3 a 4 años. Cuenca, Ecuador.

Comisión Federal para la Protección Contra Riesgos Sanitarios. (Febrero de 2017). (J. Sánchez y Tépoz, Ed.) *Revista COFEPRIS Protección y salud*. Obtenido de publicaciones@cofepris.gob.mx

Consejo Interterritorial del Sistema Nacional de Salud. (2011). Guía Descriptiva de Ortoprótisis: Prótesis externas de miembro superior e inferior. (Vol. III). (M. d. Consumo, Ed.) España.

Costa Lopes, B., & Renato, J. (2018). Diseño contra el estigma. Tesis (Doctorado en Diseño), Universidad de Aveiro, Departamento de Comunicación y Arte.

Cuffaro, D., Paige, D., Blackman, C., Laiturí, D., Covert, D., Sears, L., & Nehez-Cuffaro, A. (2013). *The industrial design. Reference + specification book*. Massachusetts: Rockport Publishers.

Dorador, J. M. (18 de Enero de 2004). Robótica y prótesis inteligentes. *Revista Digital Universitaria*, VI(1), 15. Obtenido de <http://www.revista.unam.mx/vol.6/num1/art01/int01.htm>

Fernández Barba, F. (2004). *Diseño industrial para principiantes*. Ciudad de México: Centro de Investigaciones de Diseño Industrial.

Fernández, A., R. Llorente, M., & Fadruga, D. (2015). La Comunicación en los productos de diseño industrial. *Revista de la Universidad Cubana de Diseño*(3), 100-142.

Finch, J. (2011). The ancient origins of prosthetic medicine. *The Lancet*, 377, 548-549.

Flores, C. (2001). *Ergonomía para el diseño*. Ciudad de México: D. R. Librería.

Flores, D. (2014). *Resiliencia nómica*. Instituto Internacional de Investigación para el Desarrollo.

Food and Drug Administration. (2016). *Applying Human Factors and Usability Engineering to Medical Devices*. U.S. Department of Health and Human Services, Maryland.

Gonzalez Ochoa, C., & Torres Maya, R. (2012). *Diseño y consumo en la sociedad contemporánea*. Designio.

González, C., & Rodríguez, R. (Septiembre-Octubre de 2001). Lesiones Traumáticas de la Mano. Estudio Epidemiológico. *Revista Mexicana Ortopedica Traumatica*, 15(5).

Grieg, J., Keitsch, M., & Boks, C. (2014). Widening the Interpretation of Assistive Devices – A Designer's Approach to Assistive Technology. *NordDesign*, 303-314.

Hancock, P. A., Pepe, A. A., & Murphy, L. L. (2005). Hedonomics: The power of positive and pleasurable ergonomics. *The magazine of human factors applications: Ergonomics in design.*, XIII(1), 8-14.

Heskett, J. (2005). *Design: A Very Short Introduction*. Oxford University Press.

Instituto Mexicano del Seguro Social. (2017). *Capítulo 7: Salud en el Trabajo*. México.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2017). *La Discapacidad en México, Datos al 2014*. México.

International Organization for Standardization. (2016). *Assistive products for persons with disability — Classification and terminology*.

International Organization for Standardization. (2018). *ISO 9241-11:2018. Ergonomics of human-system interaction — Part 11: Usability: Definitions and concepts*. Switzerland.

Jokela, T., Virkkula, M., & Iivari, N. (2003). *The standard of user-centered design and the standard definition of usability*. Oulu: Oulu University.

Kumar, V. (2013). *101 Design Methods. A structured Approach for Driving Innovation in Your Organization*. New Jersey: Wiley.

Löbach, B. (1981). *Diseño Industrial: Bases para la configuración de los productos industriales*. Barcelona: Gustavo Gilí.

López, C. (2009). *Rehabilitación del amputado de miembro superior*.

Manzini, E. (2015). *Desing, when everybody desings. An introduction to desing for social innovation.* MIT Press.

Neira, J., & Bosque, L. (2011). *La Enfermedad Trauma.* Montevideo, Uruguay.

Norman, D. (2013). *The desing of everyday things.* New York: Basic Books.

Norman, D. A. (2004). *Emotional desing: why we love (or hate) everyday things.* New York: Basic Books.

Organización Mundial de la Salud. (1948). *Official Records of the World Health Organization, N° 2.* New York.

Organización Mundial de la Salud. (2011). *Informe Mundial Sobre la Discapacidad.* Ginebra, Suiza.

Organización Mundial de la Salud. (2012). *Dispositivos médicos: la gestión de la discordancia: un resultado del proyecto sobre dispositivos médicos. Tecnologías Sanitarias Esenciales,* Suiza.

Organización Munidal de la Salud. (2017). *Normas de ortoprotésica. Parte 1 Normas.* Suiza.

Organización Munidal de la Salud. (2017). *Rehabilitation in health systems.* Suiza.

Organización Munidal de la Salud. (2001). *Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud. (A. Bilbao, Trad.)* Santander, España.

Osnaya, H., Romero, J., Mondragon, M., Ochoa, G., & Escoto, J. (2014). *Estudio epidemiológico de las lesiones traumáticas de mano en un Centro Médico de Toluca, Estado de México.*

Press, M., & Cooper, R. (2009). *El diseño como experiencia: el papel del diseño y los diseñadores en el siglo XXI.* Barcelona: Gustavo Gili.

Pullin, G. (2009). *Design meets disability.* Cambridge: The MIT Press.

Ramírez Uricoechea, P., Reyes Toledo, S., Carrasco Rico, S., Franco Valencia, M., Rojano Mejía, D., & Martínez Velázquez, J. (2016). *Terapia en espejo para el tratamiento de dolor de miembro fantasma crónico en pacientes amputados. Revista Mexicana de Medicina Física y Rehabilitación(28), 49-53.*

Rocha, E., Salinas, J., & Castellano, P. (2012). *Escultura de Uñas y Estética de Manos y Pies. 1 Grado Medio (Primera ed.).* McGraw-Hill Interamericana De España S.L.

Rodríguez, G. (1985). *Manual de diseño industrial : curso básico (Tercera ed.).* Estado de México: G. Gili.

Rohen, J. W., Yokochi, C., & Liitjen-Drecoll, E. (2013). *Atlas de anatomía humana. Estudio fotográfico del cuerpo humano. (5ta Edición ed.). (J. N. Cegarra, Trad.)* Madrid, España: Elsevier España. S.A.

Scruton, R. (2007). *In Search of the Aesthetic. British Journal of Aesthetics, 47(3), 238.*

Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica. (2018). Encuesta Nacional de la Dinámica Demográfica. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

Sonderegger, A., & Sauer, J. (2010). The influence of design aesthetics in usability testing: Effects on user performance and perceived usability. *Applied Ergonomics*, 403-410.

Tortora, G., & Derrickson, B. (2013). *Principios de Anatomía y Fisiología*. Editorial Médica Panamericana.

Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2013). *Diseño y desarrollo de productos* (Quinta ed.). Ciudad de México: McGraw-Hill.

Vilchis, L. (2002). *Metodología del Diseño. Fundamentos teóricos*. México: Claves latinoamericanas.

Weschenfelder Rodrigues, Y. (2021). *Diseño para el envejecimiento: La dimensión simbólica para superar el estigma en los equipos de ayuda*. Tesis (Doctorado en Diseño), Universidad de Aveiro, Departamento de Comunicación y Arte.

World Design Organization. (2015). *World Design Organization (WDO)*. Obtenido de <https://wdo.org/>

World Economic Forum. (2019). *Health and healthcare in the fourth industrial revolution. Insight report*, Global future council on the future of health and healthcare 2016-2018, Suiza.

Yock, P., Zenios, S., Makower, J., Brinton, T., Kumar, U., & Watkins, J. (2015). *Biodesign. The Process of Innovating Medical Technologies* (Second ed.). (L. Denend, Ed.) United Kingdom: Cambridge.

Dirección General de Bibliotecas UAO