



UNIVERSIDAD
DEL AZUAY

FACULTAD DE
DISEÑO
ARQUITECTURA
Y ARTE

ESCUELA DE DISEÑO DE PRODUCTOS

DISEÑO DE UN EXOESQUELETO PARA

LA REHABILITACIÓN FÍSICA DE

LA MANO

LICENCIADO EN DISEÑO DE PRODUCTOS

AUTOR

JUAN FRANCISCO
PERALTA SARI

TUTOR

ING. JOSÉ LUIS
FAJARDO

CUENCA - ECUADOR

2025

BOETTACIUM
PROYECTO DE GRADUACION



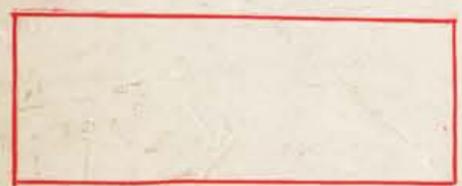
Generar una familia de formas para el espacio de la mano



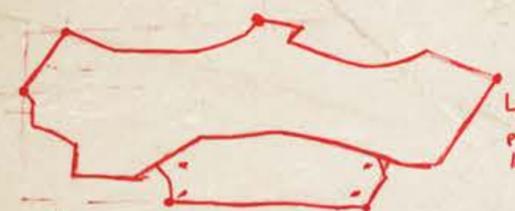
Soporte de brazo
 Bases rectangulares para aprovechar espacios

Formas Repetitivas
 ↓
 Generar una familia

IDEACION

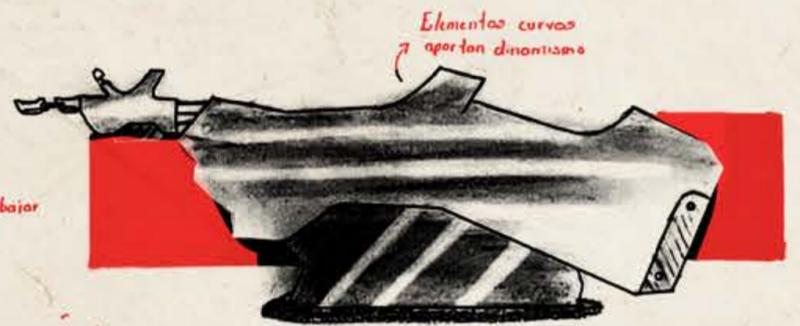


La Retícula, me ayuda a trabajar mejor las formas y espacios.



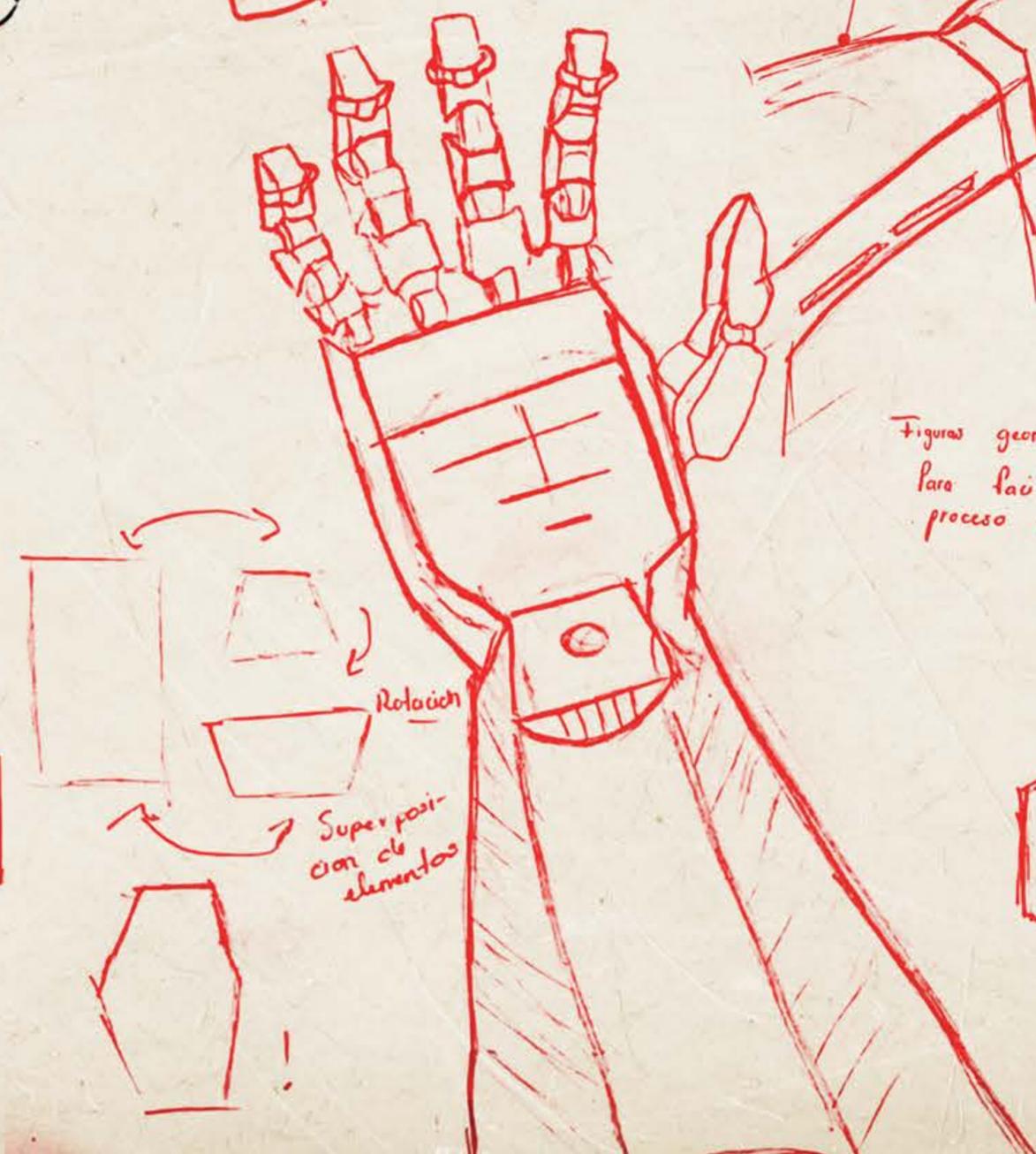
Los Define puntos, trabajar la forma.

Eliminar elementos innecesarios, aporta ligereza



Elementos curvos aportan dinamismo

Diseño mas claro y comprensible.



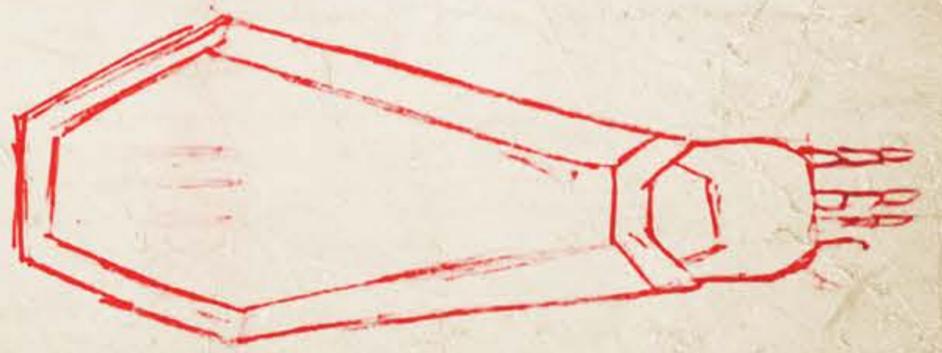
Rotación

Superposición de elementos

Figuras geométricas para facilitar el proceso de construcción.

Teoría de la Gestalt, trabajar con formas geométricas influye es como las personas perciben y organizan las formas

Suposición de los dedos



DISEÑO DE UN EXOESQUELETO PARA LA REHABILITACIÓN FÍSICA DE LA MANO



UNIVERSIDAD
DEL AZUAY

FACULTAD DE
DISEÑO
ARQUITECTURA
Y ARTE

AUTOR:

Juan Francisco Peralta Sari

TUTOR:

Ing. José Luis Fajardo

AGRADECIMIENTOS

Qué increíble es pensar en cómo la vida siempre puede sorprenderte. Jamás imaginé llegar tan lejos, y mucho menos que mi familia se extendería hasta Quito, Monterrey y Japón. Gracias por creer en mí. Gracias por enseñarme a no rendirme, por demostrarme que con una sonrisa, con pasión y con amor, todo se puede lograr.

Quiero comenzar agradeciendo a la persona más influyente en mi vida: mi tío, mi ejemplo a seguir, mi hermano. Gracias, Andrés. Siempre vi en ti una inspiración. Involuntariamente me enseñaste a soñar, y eso ha marcado todo mi camino.

También quiero agradecer a todas las personas que me han acompañado a lo largo de estos cuatro años. En especial, a mis padres, quienes han sido mi soporte, mi apoyo constante y el impulso que me permitió alcanzar cada meta que me propuse. Nada de lo que he vivido y experimentado habría sido posible sin ellos.

Gracias a ti, Paz. Qué increíble saber que fuiste parte del proceso en el que aprendí a crecer. Saber que en mí puedes ver un ejemplo me motiva cada día a dar lo mejor de mí.

A mis abuelitos, que siempre han sido ese refugio donde puedo encontrar amor y paz: todo lo que soy hoy es el reflejo de lo que ustedes me enseñaron. ¡Qué viaje tan increíble ha sido este!

A mis amigos, gracias por estar ahí en los momentos clave. A cada persona que me dio una mano sin esperar nada a cambio, este logro también es suyo.

Y finalmente, gracias a mi Facultad por enseñarme que siempre hay oportunidades nuevas esperando a la vuelta de la esquina. Aprendí que, si uno se deja sorprender, la vida nunca falla. Gracias de corazón a cada persona del Dislab, y a cada docente que, con el tiempo, se convirtió en un amigo. Qué gratificante es saber que formé parte de la Escuela de Diseño de Producto de la Universidad del Azuay.
A todos, gracias totales.

DEDICATORIA

“Tienes que luchar por tu sueño, tienes que sacrificarte y trabajar duro por él.”

Hoy quiero dedicar este logro a toda mi familia, pero en especial a mi madre, quien desde siempre ha sido mi mayor inspiración y el motor que me ha impulsado a seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles.

Ma, esto es para ti. Eres la mujer que me enseña cada día a no rendirme, a levantarme con más fuerza y a creer en lo que soy capaz de lograr. Esto es por todo lo que vivimos, por cada obstáculo superado, por esas veces en las que parecía que no había salida. Porque, al final, siempre hay una luz al final del túnel.

Este logro es la prueba de que, con esfuerzo, constancia y hasta lágrimas, todo se puede alcanzar. Es un homenaje a quienes me tendieron la mano sin pedir nada a cambio, a quienes creyeron en mí cuando ni yo mismo lo hacía. La vida no siempre es fácil, pero mientras más duro es el camino, mejor es la satisfacción de lograrlo.

También lo dedico a mis amigos, a quienes me acompañaron sin juzgar, y a mis profesores, que más allá de enseñar, supieron guiar y acompañar. En especial, a José Luis Fajardo, una persona admirable. Qué valioso es saber que todavía existen docentes que enseñan con pasión y compromiso.

Este logro no es solo mío. Es de todos ustedes. Gracias.

ÍNDICE GENERAL

IMG#1
IMG#2
IMG#3



1.2. ANTECEDENTES.....	21
1.3. ESTADO DEL ARTE	26
1.4. ANÁLISIS ESTADOS DEL ARTE	32
1.5 CONCLUSIÓN.....	33



2.1. INTRODUCCIÓN	34
2.2. ARQUITECTURA DEL PRODUCTO.....	36
2.3. BIOMECÁNICA	38
2.4. MECANISMO	39
2.5. EXPERIENCIA DE USUARIO.....	40
2.6. CONCLUSIÓN	43



3.1. INTRODUCCIÓN.....	44
3.2. BRIEF DE LA INVESTIGACIÓN.....	45
3.3. INFORMACIÓN: ENTREVISTA REALIZADA AL INGENIERO ESTEBAN JAVIER MORA	47
3.4. ENTREVISTAS: PROFESIONALES LICENCIADO CARLOS	49
3.5. ENTREVISTAS:PACIENTES	54
3.6. PERFIL DE USUARIO	58
3.7. ANÁLISIS HOMÓLOGOS.....	60
3.8.IDEACIÓN	68
3.9.EMPATIZAR.....	68
3.10. DEFINIR	71
3.11 IDEAR.....	72
3.12.CONCLUSIÓN.....	78



4.1. INTRODUCCIÓN.....	79
4.2.DOCUMENTACIÓN TÉCNICA	80
4.3.RENDERS.....	88
CONCLUSIONES DEL PROYECTO.....	95
REFERENCIAS	96

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. https://unsplash.com/es/fotos/foto-en-escala-de-grises-de-la-mano-de-la-persona-A9uZExE2Kd0	9
Imagen 2. https://www.pexels.com/es-es/foto/foto-en-escala-de-grises-de-silla-de-ruedas-927690/	9
Imagen 3. Creada con ia	9
Imagen 4. https://www.pexels.com/es-es/foto/brazo-oficina-reloj-de-pulsera-sin-rostro-4506166/	14
Imagen 5. https://www.pexels.com/es-es/foto/foto-de-rueda-dentada-dorada-sobre-fondo-negro-3785927/	15
Imagen 6. https://sportsalud.cl/blog/fractura-del-metacarpiano/	16
Imagen 7. https://unsplash.com/es/fotos/foto-en-escala-de-grises-de-la-mano-de-la-persona-A9uZExE2Kd0	21
Imagen 8. https://www.pexels.com/es-es/foto/foto-en-escala-de-grises-de-silla-de-ruedas-927690/	22
Imagen 9. Creada con ia	24
Imagen 10. https://unaihuiziphotography.myportfolio.com/stock-photography-jobs	25
Imagen 11. https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/12798/1/18330.pdf	26
Imagen 12. https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/24347	27
Imagen 13. https://www.mdpi.com/2306-5354/9/11/682	28
Imagen 14. https://www.noticiasdenavarra.com/ciencia-y-tecnologia/2023/10/03/crean-exoesqueleto-mejora-movilidad-pacientes-7340272.html	29
Imagen 15. https://www.pexels.com/es-es/foto/foto-en-escala-de-grises-de-la-mano-izquierda-54321/	30
Imagen 16. https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=OESI-WifF8pM	31
Imagen 17. https://www.europapress.es/portaltic/gadgets/noticia-crean-guante-robotico-realidad-virtual-simulacro-20141002132332.html	32
Imagen 18. https://www.elnortedecastilla.es/valladolid/funcionamiento-exoesqueleto-creado-uva-20231004000348-nt.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.elnortedecastilla.es%2Fvalladolid%2Ffuncionamiento-exoesqueleto-creado-uva-20231004000348-nt.html	33
Imagen 19. https://pixabay.com/es/photos/mariposa-emperador-purpura-menor-7397793/	35
Imagen 20. https://www.3ds.com/es/make/solutions/blog/technical-drawing-cnc-machining	36
Imagen 21. https://www.pexels.com/photo/close-up-of-surgical-procedure-on-hand-30797688/	38
Imagen 22. https://gargil.es/sistema-de-engranajes/	40
Imagen 23. https://www.eldiario.es/sociedad/primer-protesis-bionica-funciona-iman-vez-electrodos_1_11644605.html	41
Imagen 24. https://www.elindependiente.com/futuro/2019/02/13/descubren-que-no-solo-el-cerebro-controla-nuestras-manos/	42
Imagen 25. https://es.wired.com/articulos/como-funciona-third-thumb-pulgar-robotico-para-casi-todo-mundo	43
Imagen 26. Creada con ia	54
Imagen 27. Creada con ia	55
Imagen 28. Creada con ia	56
Imagen 29. Creada con ia	57
Imagen 30. https://www.pexels.com/es-es/foto/brazo-mano-oficina-reloj-de-pulsera-4506075/	58
Imagen 31. https://www.pexels.com/photo/person-making-taping-to-woman-s-neck-8219055/	59
Imagen 32. https://www.instagram.com/p/BIOq9_oF4Bn/?utm_source=ig_share_sheet&igshid=1wbap2kasu9ni&epik=dj0yJnU9dS1JO-Hh6RFIOZ3hfSnZobEIIzDRPQ2ZnZ2hMUmgwMIMmcD0wJm49SXN-jaFdYOHBMcV85cHdBsvpldVY0QSZ0PUFBQUFBR2hCM3Zn	60
Imagen 33. https://www.developafrica.org/3d-printing-africa-style	61



Imagen 34. https://todospodemosayudar.com/index.php/product/exoesqueleto-para-ayudar-a-la-movilidad-de-la-mano/	62
Imagen 35. https://www.elespanol.com/castilla-y-leon/region/20190719/jovenes-salmantinos-disenan-exoesqueleto-personas-sin-movilidad/414960097_0.html	63
Imagen 36. https://www.thingiverse.com/thing:1880228	64
Imagen 37. https://www.printables.com/model/870468-improving-fine-motor-skills-designing-a-3d-fdm-pri/remixes?lang=es	65
Imagen 38. https://www.wingmed.com.tr/en/product/thermoplastic-dynamic-hand-finger-splint/	66
Imagen 39. https://www.pexels.com/es-es/foto/vista-isometrica-del-lugar-de-trabajo-de-la-impresora-3d-desde-arriba-30275792/	67
Imagen 40. https://www.pexels.com/photo/hands-of-doctor-and-patient-on-table-7578798/	69
Imagen 41. https://cults3d.com/es/modelo-3d/herramientas/prothetic-hand	70
Imagen 42. https://www.pexels.com/es-es/foto/persona-con-herramienta-de-mano-negra-y-plateada-6153345/	70
Imagen 43. de Pexels: https://www.pexels.com/es-es/foto/tecnologia-impresora-videocamara-de-alta-tecnologia-20877035/	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 BRIEF DE INVESTIGACIÓN 1	46
Tabla 2 BRIEF DE INVESTIGACIÓN 2	48
Tabla 3 BRIEF DE INVESTIGACIÓN 3	53



RESUMEN

El propósito de este trabajo es contribuir a la rehabilitación de la mano a través de la incorporación de diseño y funcionalidad en un exoesqueleto. Por esta razón, se propone entender los mecanismos y el funcionamiento de estos dispositivos, con el objetivo de definir criterios teóricos, formales, funcionales y tecnológicos que orienten la propuesta. El desarrollo del proyecto se estructura en cuatro capítulos. El primero trata el tema de la discapacidad física y ofrece antecedentes significativos, junto con una revisión del estado actual de

las investigaciones. El segundo establece el marco teórico necesario para sustentar el diseño. El tercero describe la metodología aplicada, basada en entrevistas a fisioterapeutas y pacientes, así como en el análisis de referentes. Finalmente, el capítulo cuatro expone la creación del exoesqueleto y su comprobación, tomando en cuenta tanto elementos técnicos como sensoriales. La propuesta resultante busca responder a las necesidades reales de los usuarios mediante un diseño funcional y adecuado para procesos de rehabilitación.

Palabras Clave

Exoesqueleto, Rehabilitación, Diseño Centrado en el Usuario, Mecanismos, Funcionalidad, Estética



IMG#4



ABSTRACT

The purpose of this work is to contribute to hand rehabilitation through the integration of design and functionality in an exoskeleton. For this reason, it aims to understand the mechanisms and functioning of these devices in order to define theoretical, formal, functional, and technological criteria to guide the design proposal. The development of the project is structured into four chapters. The first addresses the issue of physical disability and presents relevant background information, along with a review of the current state

of research. The second establishes the theoretical framework necessary to support the design. The third describes the applied methodology, based on interviews with physiotherapists and patients, as well as the analysis of references. Finally, the fourth chapter presents the creation of the exoskeleton and its validation, considering both technical and sensory elements. The resulting proposal seeks to meet the real needs of users through a functional design suitable for rehabilitation processes.

Keywords

Exoskeleton, Rehabilitation, User-Centered Design, Mechanisms, Functionality, Aesthetics



INTRODUCCIÓN

Diseñar un producto para el cuerpo humano implica más que resolver un problema técnico. Esta tesis propone el desarrollo de un exoesqueleto para la rehabilitación física de la mano, con el objetivo de responder a una necesidad real: ofrecer una herramienta que no sólo funcione adecuadamente, sino que también sea cómoda, comprensible y visualmente aceptada por quien la utiliza. El proyecto parte de una premisa concreta: la forma en que los dispositivos médicos se presentan influye directamente en la percepción que el usuario tiene de su propia recuperación, su cuerpo y su autonomía.

El documento se organiza en cuatro

capítulos. El primero se centra en la contextualización del problema, exponiendo datos sobre la discapacidad física a nivel global y local, y analizando cómo esta afecta de forma directa la calidad de vida de las personas. A través de una revisión del estado del arte, se identifican múltiples propuestas técnicas desarrolladas en los últimos años para la rehabilitación de la mano, la mayoría orientadas a cumplir funciones mecánicas, pero sin una consideración profunda del diseño como herramienta de conexión entre el usuario y el producto. Esta revisión permite delimitar el espacio en el que se inscribe la presente propuesta.

En el segundo capítulo se construye el marco teórico que sustenta el proceso de diseño. Se abordan conceptos clave como la arquitectura del producto, que permite estructurar adecuadamente sus componentes; la biomecánica, que proporciona las bases para entender cómo debe comportarse el dispositivo en relación con el cuerpo humano; los mecanismos, que explican la lógica interna del movimiento controlado; y la experiencia del usuario, como un factor esencial que condiciona la aceptación del producto en contextos de uso reales. Cada uno de estos elementos se articula para sentar las bases de un diseño coherente, que prioriza tanto la funcionalidad como la interacción física y

simbólica con el usuario.

El tercer capítulo describe el proceso metodológico aplicado. A partir del enfoque Design Thinking, se llevó a cabo una etapa de empatía basada en entrevistas semiestructuradas a fisioterapeutas y pacientes con distintas condiciones. Estas entrevistas permitieron identificar limitaciones frecuentes en los procesos de rehabilitación manual, así como las expectativas reales sobre un dispositivo de asistencia. Con esta información, se definieron criterios teóricos, formales y funcionales que guiaron la etapa de ideación, acompañada de bocetos, análisis de referentes y un primer prototipo desarrollado con tecnologías accesibles como la impresión 3D. El

enfoque metodológico no solo permitió una comprensión más cercana de las necesidades del usuario, sino que también reforzó la importancia de pensar el diseño desde una perspectiva integral.

El cuarto capítulo presenta el desarrollo del producto y el protocolo de validación aplicado. Se describe la configuración formal del exoesqueleto, los materiales y componentes técnicos utilizados, así como las decisiones tomadas en torno a su forma, tamaño, estructura y color. Posteriormente, se expone el proceso de validación realizado con usuarios, donde se evaluaron aspectos como la percepción visual, la comodidad, la facilidad de uso y el impacto emocional del diseño. Las respuestas obtenidas permiten identificar fortalezas en

la propuesta, especialmente en cuanto a su aceptación visual y a la claridad del sistema de colocación, lo que refuerza la hipótesis inicial de que el diseño puede ser un puente entre la tecnología médica y la experiencia cotidiana del usuario.

Este proyecto no pretende reemplazar la intervención profesional en procesos de rehabilitación, sino complementarla con una herramienta que entienda el diseño como una estrategia de diálogo entre cuerpo, función y forma. A lo largo de sus capítulos, la tesis explora cómo una solución centrada en el usuario puede tener mejores posibilidades de impacto, no solo por lo que hace, sino también por cómo se presenta y cómo se siente al usarla.

IMG#6



PROBLEMATICA

La discapacidad física afecta a millones de personas en el mundo y, aunque todos los seres humanos tienen el derecho inherente a gozar del máximo grado de salud posible, las personas con discapacidad siguen enfrentando barreras para acceder a una atención adecuada (Organización Mundial de la Salud, 2022). A nivel global, más de mil millones de personas viven con algún tipo de discapacidad, lo que representa el 15% de la población mundial (Banco Mundial, 2023).

En Ecuador, según datos del Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades (CONADIS), existen 480.776 personas con discapacidad física, lo que evidencia la urgencia de generar soluciones para esta población. Sin embargo, Baquero (2015) sostiene que la identidad de estas personas ha sido históricamente construida desde una mirada excluyente, alimentando prejuicios, discriminación y limitaciones en el ejercicio pleno de su ciudadanía.

Entre las principales causas que provocan discapacidad física se encuentra el accidente cerebrovascular (ACV), una de las afecciones neurológicas más frecuentes y un problema de salud pública global, debido a su alta mortalidad y a las secuelas permanentes que deja en los sobrevivientes (Moyano, 2010).

Si bien los avances médicos han disminuido la letalidad del ACV, esto ha incrementado la cantidad de personas que viven con limitaciones motoras. Este impacto no se limita al ámbito físico, ya que muchos pacientes experimentan deterioro cognitivo, y en algunos casos, el ACV puede desencadenar síndromes neurodegenerativos, siendo incluso la segunda causa más común de demencia a nivel mundial (Moyano, 2010).

Frente a este contexto, la rehabilitación juega un papel esencial para recuperar la independencia y mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad física. Brito Guaricela et al. (2013) enfatizan que la rehabilitación de la función de las manos es especialmente importante, ya que esta parte del cuerpo permite a las personas realizar actividades cotidianas e interactuar de manera eficaz con su entorno.

La mano es una herramienta compleja y versátil que, gracias a las terminaciones

nerviosas en sus yemas, permite distinguir objetos por el tacto. Bützer et al. (2020) agregan que más de 50 millones de personas en el mundo han perdido parcial o totalmente la función de sus manos debido a accidentes cerebrovasculares o lesiones medulares, lo que limita profundamente su autonomía.

En este sentido, Langhorne et al. (2013) explican que las terapias de rehabilitación deben basarse en movimientos intensivos, repetitivos y orientados a tareas concretas, dentro de contextos que motiven al paciente, ya que esto estimula la neuroplasticidad y favorece una recuperación funcional más eficaz. Además, Langhorne, Coupar y Pollock (2013) señalan que el tratamiento dentro de unidades especializadas en ACV, bajo la guía de equipos interdisciplinarios, ofrece mejores resultados al incorporar ciclos sistemáticos de evaluación, definición de objetivos, intervención y reevaluación.

Por otro lado, Cruz Martínez (2018) advierte que, a pesar de que las terapias manuales pueden ser efectivas, también tienden a ser agotadoras tanto para los pacientes como para los fisioterapeutas, afectando en algunos casos la calidad del tratamiento. Asimismo, Mancheno Saavedra (2023) remarca que la rehabilitación física busca principalmente mejorar la movilidad, reducir el dolor y la inflamación, y evitar posibles complicaciones secundarias.

En la actualidad, Mendoza Novillo (2023) reconoce que existen diversos prototipos de exoesqueletos que cumplen con su función técnica; sin embargo, muchos de ellos descuidan la dimensión estética, lo cual resulta clave para lograr un producto equilibrado. Este autor también resalta que la voz de los usuarios debe ser tomada en cuenta en el desarrollo de estos dispositivos, especialmente cuando están orientados a la rehabilitación, ya que sus experiencias y necesidades aportan valor al diseño final.

Por lo tanto, desde el Diseño de Productos se plantean soluciones que no solo mejoren la efectividad de los procesos de rehabilitación, sino que también integren propuestas estéticas que contribuyan al bienestar emocional y a la autoestima de las personas con discapacidad física.

OBJETIVO GENERAL

Aportar en la rehabilitación de la mano mediante la integración de diseño y funcionalidad.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Conocer los mecanismos y el funcionamiento del exoesqueleto.

Definir criterios teóricos, formales, funcionales y tecnológicos con los que se va a abordar la propuesta de diseño.

Diseñar un exoesqueleto para rehabilitación.



1.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se analiza la problemática que enfrentan las personas con discapacidad física, especialmente aquellas que necesitan rehabilitación para recuperar la movilidad de sus manos. A partir de los antecedentes, se resalta la importancia de los exoesqueletos como herramientas terapéuticas que buscan no solo mejorar la funcionalidad, sino también brindar soluciones que consideren las experiencias y necesidades de los usuarios.

Con esta perspectiva, el desarrollo del estado del arte se organiza en torno a preguntas clave que permiten entender qué se ha hecho, cómo se ha llevado a cabo, con qué propósito y cuáles han sido los resultados obtenidos.

Esto permitirá identificar avances y desafíos en el diseño de exoesqueletos, destacando la necesidad de integrar funcionalidad y estética para mejorar la experiencia de quienes los utilizan.

1ER CAPÍTULO



IMG#7



1.2. ANTECEDENTES

Este proyecto surge como una continuación del trabajo titulado “Desarrollo de un Prototipo de Exoesqueleto para Imitación del Movimiento de la Mano Basado en una Interfaz Leap Motion”. En ese trabajo se destacó la importancia de desarrollar soluciones fisioterapéuticas como los exoesqueletos, dispositivos diseñados para apoyar a personas con discapacidades que han perdido o reducido la movilidad de la mano. También se resaltó la relevancia de considerar la opinión de los usuarios, ya que el diseño visual de estos dispositivos influye directamente en su experiencia y aceptación. Este enfoque permite avanzar hacia soluciones que integren de manera efectiva funcionalidad y estética.



#IMG8

Esta necesidad cobra mayor relevancia al considerar que, la discapacidad física a nivel global afecta a millones de personas en el mundo. Según el Banco Mundial (2023), más de mil millones de personas, equivalentes al 15% de la población mundial, viven con algún tipo de discapacidad. En Ecuador, el Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades (CONADIS) reporta que 480.776 personas tienen alguna discapacidad física, lo que evidencia la necesidad de desarrollar soluciones inclusivas para esta población. La situación de las personas con

discapacidad en Ecuador es compleja: el 31,49% vive en situación de pobreza, mientras que el 43% no está registrado, probablemente en una condición aún más vulnerable (UNFPA, FLACSO, 2023). Esta población enfrenta discriminación y falta de acceso a educación y trabajo, lo que incrementa la desigualdad y las probabilidades de continuar en condiciones de alta vulnerabilidad. A nivel global, Bützer et al. (2020) explican que la pérdida de funcionalidad en las manos ya sea por un accidente cerebrovascular o una lesión en la médula espinal, afecta

a más de 50 millones de personas, limitando significativamente su independencia y calidad de vida. Aunque todos los seres humanos tienen el derecho inherente a gozar del máximo grado de salud posible, como lo señala la Organización Mundial de la Salud (2022), las personas con discapacidad a menudo enfrentan barreras para acceder a una atención adecuada. Baquero (2015) señala que la identidad de las personas con discapacidad ha sido históricamente construida desde una perspectiva excluyente, fomentando prejuicios,

discriminación y limitaciones en el ejercicio pleno de su ciudadanía. Esta exclusión se vuelve preocupante para quienes enfrentan lesiones, enfermedades o trastornos como el derrame cerebral, que a menudo requieren fisioterapia para mejorar su condición. A lo largo de los años, la UNFAP, FLACSO (2023) señalan que, el enfoque de la discapacidad en el contexto ecuatoriano ha evolucionado hasta los modelos médico-rehabilitador y social, siendo este último el más reciente, que promueve una mayor inclusión de las personas con

discapacidad.

En este contexto, la rehabilitación es importante en la recuperación de la independencia y la mejora de la calidad de vida de las personas con discapacidad física. Brito Guaricela et al. (2013) destacan que la rehabilitación de la función de las manos es relevante, ya que esta extremidad permite realizar actividades cotidianas e interactuar eficazmente con el entorno. Asimismo, Medina Quintero et al. (2022) señala que, las patologías o lesiones que afectan a la mano suelen requerir

terapias físicas específicas para recuperar la movilidad de los dedos y su funcionalidad integral.

De esa manera, Mancheno Saavedra (2023) menciona que la rehabilitación física tiene como objetivos mejorar la movilidad de las extremidades afectadas y también reducir el dolor y la inflamación, así como prevenir complicaciones adicionales. De manera complementaria, Renard et al. (2013) contraponen que este tipo de rehabilitación no solo busca la recuperación de lesiones, sino también



evitar que incapacidades temporales se conviertan en permanentes, contribuyendo al mantenimiento de la funcionalidad a largo plazo. Sin embargo, como destaca Santoja Guerrero (2012), el éxito del proceso depende en gran medida de la gravedad del daño, ya que lesiones medulares o enfermedades degenerativas como la artritis y la esclerosis múltiple pueden limitar la movilidad de manera irreversible. Es por ello que, la rehabilitación física tiene como propósito recuperar la autosuficiencia e independencia de las personas, permitiéndoles llevar una vida lo más normal posible dentro de sus posibilidades.

Aunque las terapias manuales son efectivas, Cruz Martínez (2018) nos dice

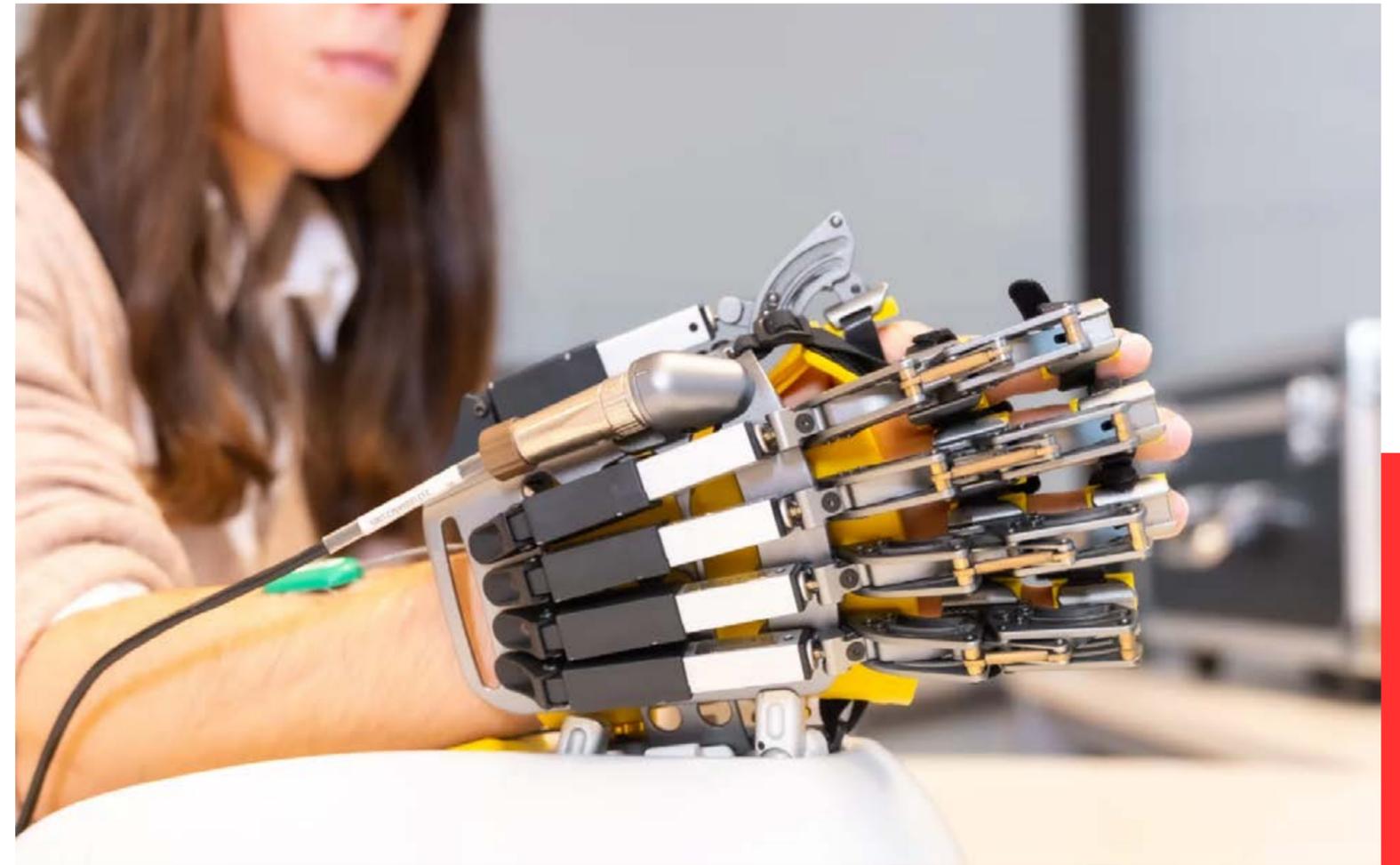
que estas pueden resultar agotadoras tanto para los pacientes como para los fisioterapeutas, lo que puede afectar la calidad del tratamiento. De hecho, Belén Luna et al. (2022) manifiesta la importancia de desarrollar soluciones tecnológicas que optimicen el proceso de rehabilitación. Los avances tecnológicos se han convertido en herramientas importantes en este proceso, destacando los exoesqueletos como una herramienta efectiva.

Según Rincón Jiménez (2023), estos dispositivos están diseñados para asistir a pacientes con limitación de movimientos en sus extremidades, contribuyendo a mejorar su funcionalidad y calidad de vida. No

obstante, Santoja Guerrero (2012) profundiza que la voluntad del paciente es un determinante, especialmente en casos donde las posibilidades de recuperación son limitadas. En la actualidad los avances tecnológicos, han ido de la mano con el diseño y la ingeniería, lo cual demuestra que son herramientas en el proceso de rehabilitación. A su vez, Noa Pelier, Torres Aguilar, & Nodarse Rabelo (2021) señalan que los exoesqueletos son importantes ya que permite entregar dosis intensas de entrenamiento, promoviendo la recuperación funcional en pacientes con debilidad muscular o espasticidad. Asimismo, mencionan que, esta tecnología se ha demostrado relevante en la rehabilitación de personas con secuelas de enfermedades cerebrovasculares, que son una de las principales causas de discapacidad. Finalmente, Rincón Jiménez (2023) aclara que, La integración de exoesqueletos en la rehabilitación permite un avance en la rehabilitación del paciente, facilitando un proceso de recuperación más eficiente y menos cansado para los fisioterapeutas, quienes han realizado estos ejercicios manualmente. En la actualidad existen un sin número de dispositivos que permiten al paciente mejorar la calidad de su rehabilitación, pero Mendoza Novillo (2023) menciona que, si bien los exoesqueletos cumplen con su funcionalidad principal, muchos descuidan el aspecto estético, lo cual resulta fundamental para lograr un proyecto equilibrado que sea tanto efectivo como visualmente atractivo y que la opinión de los usuarios debe ser un factor en el desarrollo de estos dispositivos, subrayando la importancia de considerar sus experiencias y



IMG#9



IMG#10

necesidades para optimizar su diseño. De esta manera, el diseño de productos médicos, como los exoesqueletos, tiene como objetivo cubrir las necesidades del usuario a través de su interacción directa con el producto. En este sentido, el diseño según Díaz et al. (2019) se enfoca en garantizar que el producto cumpla con su función de manera correcta, teniendo en cuenta

los aspectos anatómicos, fisiológicos y antropométricos del usuario. Por lo tanto, la relación entre el usuario y el producto es importante como menciona Macías Martín et al. (2016) ya que de esta manera se asegura que el exoesqueleto no solo cumpla con su propósito funcional, sino que también proporcione comodidad y usabilidad durante el proceso de rehabilitación

Finalmente, Arroyo y Bravo (2020), mencionan que es determinante que el diseño de productos aborde las necesidades del paciente, ya que los dispositivos deben ser accesibles, estéticos y eficientes para ser utilizados correctamente por el usuario.



1.3. ESTADO DEL ARTE

1.3.1. DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE EXOSQUELETO PARA IMITACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LA MANO BASADO EN UNA INTERFAZ LEAP MOTION

Mendoza Novillo, D. P. (2023), en su tesis titulada "DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE EXOSQUELETO PARA IMITACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LA MANO BASADO EN UNA INTERFAZ LEAP MOTION", desarrolló un prototipo de exoesqueleto robótico para la mano, diseñado para imitar los movimientos de flexión y extensión de los dedos. Este dispositivo, se basa en la **tecnología de impresión 3D**, la cual utiliza **hilos y servomotores** para replicar los movimientos de la mano del usuario. La información necesaria para el control del exoesqueleto se obtiene a través del **sensor Leap Motion**, que capta los movimientos de la mano sana. En primera parte, el proyecto incluyó una revisión bibliográfica

sobre tecnologías de rehabilitación y dispositivos robóticos. Luego, el modelado del prototipo se lo realizó en un programa CAD, asegurando que el dispositivo fuera regulable en tamaño para adaptarse a diferentes usuarios. Además, se implementó una arquitectura de software basada en **ROS (Robot Operating System)** para procesar los datos del sensor Leap Motion. Este sistema permite la comunicación entre el sensor y el microcontrolador que controla los servomotores, garantizando un funcionamiento fluido del exoesqueleto. Las pruebas iniciales se llevaron a cabo con una **mano robótica**, lo que permitió verificar la efectividad del sistema antes de su aplicación en el prototipo final.



IMG#1

El objetivo de este proyecto fue **desarrollar un dispositivo que facilite la rehabilitación** de personas con dificultades en el movimiento de la mano. Al imitar los **movimientos naturales de los dedos**, se busca **mejorar la funcionalidad y la calidad de vida de los usuarios**. Además, buscó que el exoesqueleto sea una herramienta en el ámbito de

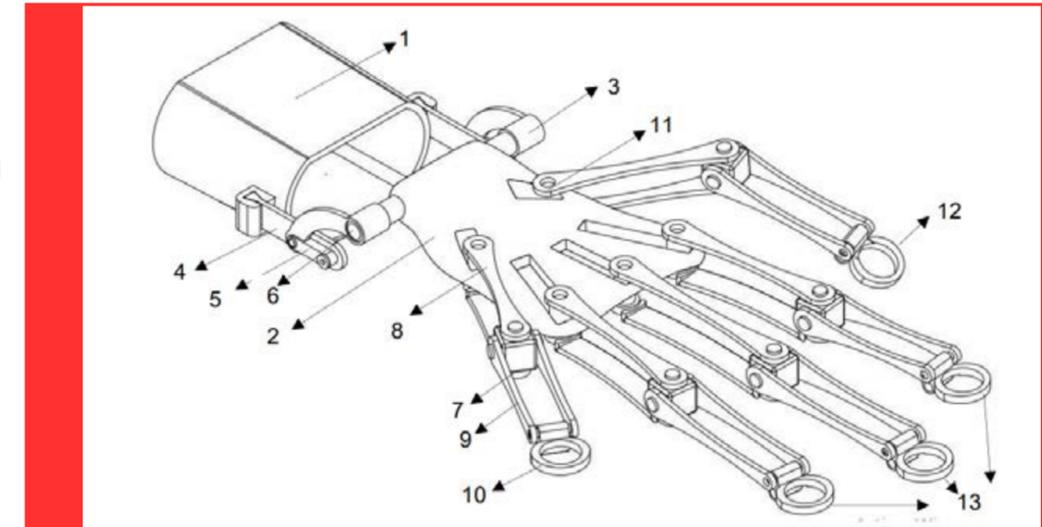
la fisioterapia, permitiendo a los profesionales del área implementar nuevas estrategias de rehabilitación. El resultado del proyecto fue un exoesqueleto que demostró **ser capaz de imitar con éxito los movimientos de flexión y extensión de los dedos**, utilizando los datos proporcionados por el sensor Leap Motion. Además, se comprobó que la **arquitectura de**

software desarrollada es modular y adaptable, lo que sugiere que puede ser utilizada en futuros proyectos relacionados con la rehabilitación. Asimismo, es importante destacar que se considera importante **tomar en cuenta la opinión de los usuarios** como un factor significativo en el desarrollo del dispositivo.

1.3.2. CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO EXO-ESQUELETO PARA REHABILITACIÓN DE LA MANO MANUFACTURA DE IMPRESIÓN 3D DEL EXO-ESQUELETO DE LA MANO Y VALORACIÓN FUNCIONAL EN LA CAPACIDAD DE FUERZA DE AGARRE

Se desarrolló un prototipo de exoesqueleto para la rehabilitación de la mano, utilizando técnicas de manufactura aditiva, específicamente impresión 3D. Este dispositivo está diseñado para **mejorar la funcionalidad del agarre en pacientes que requieren rehabilitación**, facilitando la recuperación de la movilidad y fuerza en la mano. El proyecto se basa en la personalización del diseño, adaptándose a las necesidades específicas de los usuarios, y se centra en la integración de un sistema de análisis de bioseñales para evaluar la efectividad del exoesqueleto durante su uso.

Se realizó una revisión bibliográfica que abarcó estudios previos sobre manufactura aditiva y su aplicación en la rehabilitación de la mano. Esta revisión permitió identificar las tendencias actuales, los materiales utilizados y las técnicas de diseño en el desarrollo de exoesqueletos. Se analizaron artículos científicos, tesis, y documentos técnicos que proporcionaron información sobre los avances en la tecnología de impresión 3D y su impacto en la funcionalidad de dispositivos de asistencia. Posteriormente, se procedió a la fabricación y ensamblaje del prototipo



IMG#12

del exoesqueleto, siguiendo un protocolo experimental que incluía la definición de parámetros de movilidad y fuerza. El objetivo del proyecto fue **desarrollar un exoesqueleto que facilite la rehabilitación de la mano**, mejorando la capacidad de agarre y la funcionalidad en pacientes. Además, se buscó establecer un protocolo de valoración funcional que permita medir la efectividad del dispositivo a través de registros de bioseñales.

El trabajo ofrece información necesaria para comprender **la funcionalidad del agarre facilitando la movilidad y fuerza de la mano**. A su vez, destaca información necesaria para identificar tendencias en cuanto a materiales en el desarrollo de exoesqueletos. Asimismo, la integración del sistema de análisis mediante bioseñales, brinda datos valiosos para ajustar los tratamientos.



1.3.3. HAND EXOSKELETON DESIGN AND HUMAN-MACHINE INTERACTION STRATEGIES FOR REHABILITATION

Xia et al. (2022), en su artículo titulado "Hand Exoskeleton Design and Human-Machine Interaction Strategies for Rehabilitation" **presentan un exoesqueleto de mano para facilitar la rehabilitación de pacientes con hemiplegia** tras un accidente cerebrovascular. Este dispositivo permite realizar ejercicios de rehabilitación y actividades cotidianas, alineándose con la estructura fisiológica de la mano y ofreciendo 10 grados de libertad activos y 3 pasivos. Se realizó un análisis de la estructura de la mano y la construcción de un modelo esquelético utilizando OpenSim. Se validó el diseño mediante el método de Monte Carlo y se implementaron mecanismos de enlace para una transmisión eficiente de fuerza. Se realizaron pruebas para evaluar la efectividad del exoesqueleto en la rehabilitación. Se midió la precisión en el reconocimiento de intenciones y se compararon diferentes modelos de aprendizaje automático (como SVM y CNN) para determinar cuál ofrecía mejor rendimiento en la clasificación de gestos. La fiabilidad del sistema se evaluó con sensores y algoritmos de reconocimiento de intenciones del usuario.

El objetivo fue proporcionar una solución efectiva para la rehabilitación de pacientes con discapacidades motoras, mejorando su calidad de vida y permitiéndoles realizar actividades diarias de manera más independiente. Además, se buscó avanzar en la interacción humano-máquina para una respuesta física adecuada. El proyecto resultó en un prototipo funcional que cumple con los requisitos de rehabilitación y se

adapta a las necesidades de los usuarios. Se demostró que el diseño mejora la eficacia de los ejercicios de rehabilitación y reduce la incomodidad de los exoesqueletos tradicionales, contribuyendo a la investigación en biomecánica y tecnologías aditivas. Finalmente, consideramos importante trabajar la parte estética pero el diseño ajustable del exoesqueleto sugiere un potencial para ser utilizado por una amplia variedad de usuarios, lo que podría ampliar su aplicación en diferentes contextos clínicos.

1.3.4. DISEÑO Y CONTROL DE EXOESQUELETO ROBÓTICO PARA LA REHABILITACIÓN Y ASISTENCIA DE LOS MOVIMIENTOS DE LA MANO

En la tesis de Jorge Antonio Díez Pomares, titulada Diseño y control de exoesqueleto robótico para la rehabilitación y asistencia de los movimientos de la mano (2021), se desarrolló un exoesqueleto, que tiene como finalidad facilitar la recuperación de la funcionalidad motora en personas con limitaciones en el movimiento, permitiendo que los usuarios realicen actividades de la vida diaria con mayor autonomía. La innovación principal radica en la integración de una arquitectura de sensores de fuerza, que permite un control preciso y adaptable del dispositivo, mejorando así la experiencia del usuario durante su uso. El proyecto combinó diseño y pruebas experimentales. En primer lugar, se realizó una recopilación de información sobre tecnologías existentes y necesidades específicas de los usuarios.

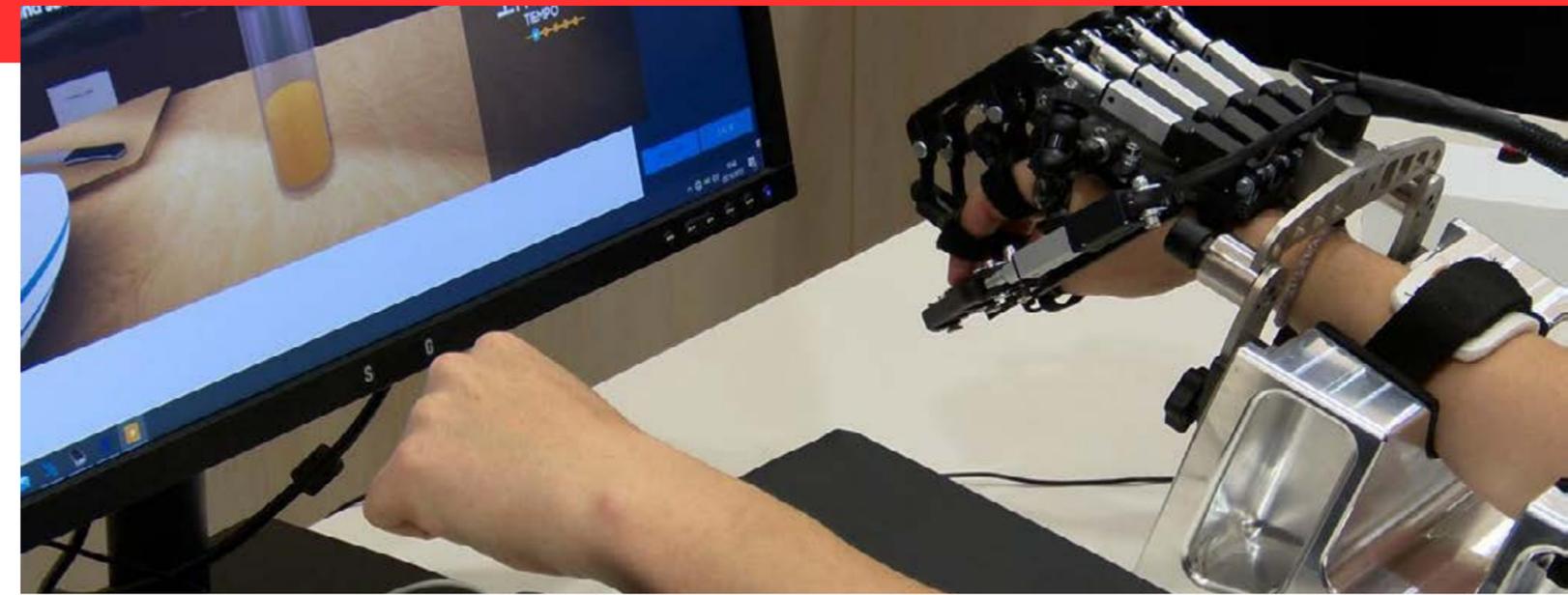
A partir de esta información, se llevó a cabo un proceso de diseño iterativo, que incluyó la creación de prototipos y pruebas experimentales. Se diseñó una nueva arquitectura para los sensores de fuerza, optimizando su integración en el exoesqueleto. Además, se evaluaron diferentes interfaces de control, lo que permitió ajustar el funcionamiento del dispositivo a las necesidades de

los usuarios en entornos clínicos y cotidianos. El objetivo de este trabajo fue desarrollar un dispositivo que les permita recuperar su independencia en actividades diarias. Se buscó ofrecer una solución efectiva para mejorar la calidad de vida de personas con discapacidades motoras, facilitando su reintegración en la sociedad.

Así pues, se logró crear un exoesqueleto robótico funcional que ha demostrado su eficacia en entornos de rehabilitación. Las pruebas realizadas con usuarios sanos y pacientes han evidenciado mejoras significativas en la funcionalidad de la mano y en la capacidad de realizar tareas cotidianas.



IMG#13



IMG#14

1.3.5. INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DE UN PROTOTIPO DE EXOESQUELETO PARA MANO EN REHABILITACIÓN ASISTIDA

En la tesis de Berith Atemoztli de la Cruz Sánchez, titulada Instrumentación y control de un prototipo de exoesqueleto para mano en rehabilitación asistida (2020), se desarrolló un sistema de instrumentación y control para un prototipo de exoesqueleto de mano diseñado para apoyar terapias de rehabilitación asistida. Este

dispositivo busca asistir a personas con dificultades en los movimientos de la mano, facilitando su recuperación y fortaleciendo los procesos de rehabilitación. Se abarcó diversas etapas importantes. Inicialmente, se analizaron los requerimientos del sistema en relación con las tareas de rehabilitación. Posteriormente, se realizaron rediseños

de piezas específicas del exoesqueleto utilizando modelos virtuales y herramientas de diseño mecánico avanzado. Estas modificaciones incluyeron la integración de sensores y sistemas de control. A continuación, se llevó a cabo la construcción del sistema de instrumentación y control, seguido de una validación cinemática para garantizar la funcionalidad



del prototipo. Finalmente, se integraron todos los componentes en un dispositivo funcional capaz de asistir al usuario en movimientos básicos durante las sesiones de rehabilitación. El objetivo del proyecto fue crear un prototipo que no solo asistiera a los usuarios, sino que también registrara datos para evaluar su progreso durante las terapias. Esto pretende optimizar las sesiones de rehabilitación al ofrecer un dispositivo que facilite

tanto la asistencia mecánica como la recolección de información. El proyecto resultó en la creación de un exoesqueleto de mano con un sistema de instrumentación y control funcional, capaz de realizar movimientos básicos necesarios para las rutinas de rehabilitación. Este dispositivo incluye mecanismos para la adquisición y procesamiento de datos en tiempo real, lo que optimiza su desempeño. La tesis de De la Cruz Sánchez

destaca por la integración de sistemas mecánicos y sensores que garantizan la funcionalidad del exoesqueleto. Sin embargo, el proyecto podría haberse beneficiado de un mayor equilibrio entre funcionalidad y estética, lo que habría mejorado la experiencia del usuario. Es importante, destacar la incorporación de herramientas virtuales en el diseño, lo que aporta un valor extra al producto.



IMG#15

1.3.6. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO ORTESIS DE MIEMBRO SUPERIOR PARA LA REHABILITACIÓN DE UN PACIENTE POST ACV

En la tesis de Robert Manuel Alvarado Huaranga y Edwin Iván Sánchez Milla, titulada Diseño e implementación de un prototipo ortesis de miembro superior para la rehabilitación de un paciente post ACV (2023), se diseñó e implementó un prototipo de ortesis automática destinada a la rehabilitación de pacientes que han

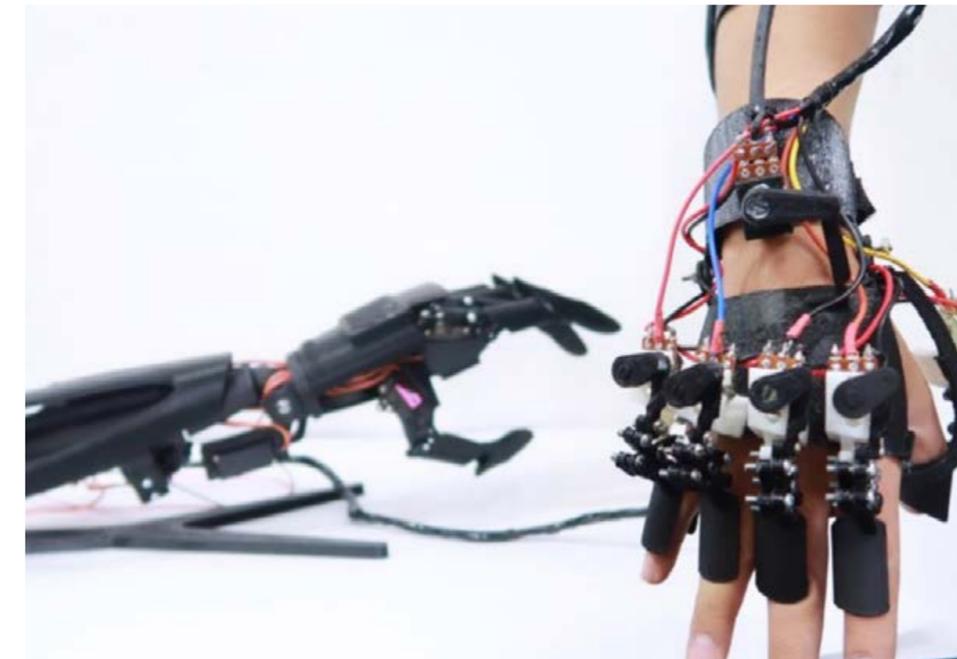
sufrido un accidente cerebrovascular (ACV). Este dispositivo busca facilitar los movimientos de flexión y extensión del codo y la muñeca, con el objetivo de mejorar la movilidad y la calidad de vida de los pacientes durante su proceso de recuperación. El proyecto se llevó a cabo utilizando la metodología VDI 2221, un enfoque

estructurado para el diseño de productos. Este proceso inició con la identificación de los requisitos del dispositivo, lo que permitió definir una lista de características que el prototipo debía cumplir. Posteriormente, se empleó una matriz morfológica para explorar diversas soluciones y establecer un diseño dividido en tres



áreas clave: mecánica, electrónica y control. Durante el desarrollo, se llevaron a cabo análisis cinemáticos y biomecánicos que garantizaron la imitación de los movimientos naturales del brazo humano. Asimismo, se realizaron cálculos de torque, diseño asistido por computadora (CAD), selección de materiales y análisis de elementos finitos para validar la funcionalidad y robustez del dispositivo. El objetivo fue crear una solución que permitiera a los pacientes realizar ejercicios de rehabilitación de manera autónoma y efectiva, abordando las barreras existentes en el acceso a terapias tradicionales. De esta forma, el prototipo se diseñó para satisfacer las necesidades individuales de los usuarios y facilitar su recuperación, promoviendo una mejora integral en su

calidad de vida. El proyecto dio como resultado la construcción de un prototipo que cumple con los requisitos establecidos. Su efectividad fue evaluada mediante pruebas y análisis que confirmaron su capacidad para realizar los movimientos de flexión y extensión en el miembro superior, validando su utilidad como herramienta de rehabilitación. El trabajo presenta avances funcionales y técnicos, destacando la importancia de la biomecánica en el desarrollo de este tipo de productos. Además, la simulación de cálculos asistida por computadora aporta al proceso de diseño. Sin embargo, consideramos que el proyecto podría beneficiarse de un enfoque adicional en el diseño estético, lo que podría mejorar la aceptación y experiencia de los usuarios.



IMG#16

1.3.7. REDISEÑO Y PARAMETRIZACIÓN DE UN EXOESQUELETO PARA REHABILITACIÓN DE LOS DEDOS DE LA MANO

En el proyecto de titulación de Reyes Tejedor, P. (2023), titulado REDISEÑO Y PARAMETRIZACIÓN DE UN EXOESQUELETO PARA REHABILITACIÓN DE LOS DEDOS DE LA MANO, se desarrolló un exoesqueleto el cual es un producto diseñado para entrar en contacto únicamente con la piel intacta del individuo. Este tipo de dispositivo está destinado a ayudar en la rehabilitación de los dedos de la mano, proporcionando soporte mecánico y facilitando ejercicios de movilidad, sin invadir o alterar la integridad de la piel del usuario. Esta clasificación es importante porque determina los requisitos regulatorios y de seguridad que deben cumplirse durante su desarrollo y comercialización. Se realizó la recopilación de información hasta la etapa de diseño, incluyendo un estudio ergonómico y la parametrización del diseño. En primer lugar, se realizó un análisis de los exoesqueletos existentes, complementado con un estudio de mercado y costes. En la etapa de diseño, se utilizó software de diseño asistido por ordenador (CAD) para desarrollar el modelo del exoesqueleto, asegurando que no se requirieran herramientas adicionales para su montaje. Se prestó atención al estudio ergonómico, que es fundamental en el diseño de dispositivos que interactúan con el cuerpo humano. Este análisis se centró en la identificación de las características que el exoesqueleto debía poseer para garantizar la



seguridad y comodidad del usuario. Se seleccionaron materiales suaves y transpirables para evitar roces y se redondearon las aristas del diseño para prevenir cortes o arañazos. La parametrización del diseño se llevó a cabo para optimizar la experiencia del usuario y asegurar que el exoesqueleto se ajustara a las características antropométricas de cada paciente. El objetivo del proyecto fue desarrollar

un exoesqueleto que mejorara las soluciones existentes en el ámbito de la rehabilitación de los dedos de la mano. Se buscó crear un dispositivo que no solo fuera funcional y accesible, sino que el exoesqueleto fuera parametrizable, lo que reduciría el tiempo de espera para su producción y facilitaría su uso en diversas situaciones de rehabilitación. Así pues, se concluyó con un proyecto

que cumple las expectativas y necesidades. Se logró un diseño compacto y ligero, fabricado mediante tecnología de impresión 3D, lo que permitió reducir los costes de producción. Además, su parametrización facilita su adaptación a diferentes tipos de lesiones, tanto físicas como cognitivas, lo que amplía su aplicabilidad en el ámbito de la rehabilitación.



IMG#17

1.4. ANÁLISIS ESTADOS DEL ARTE

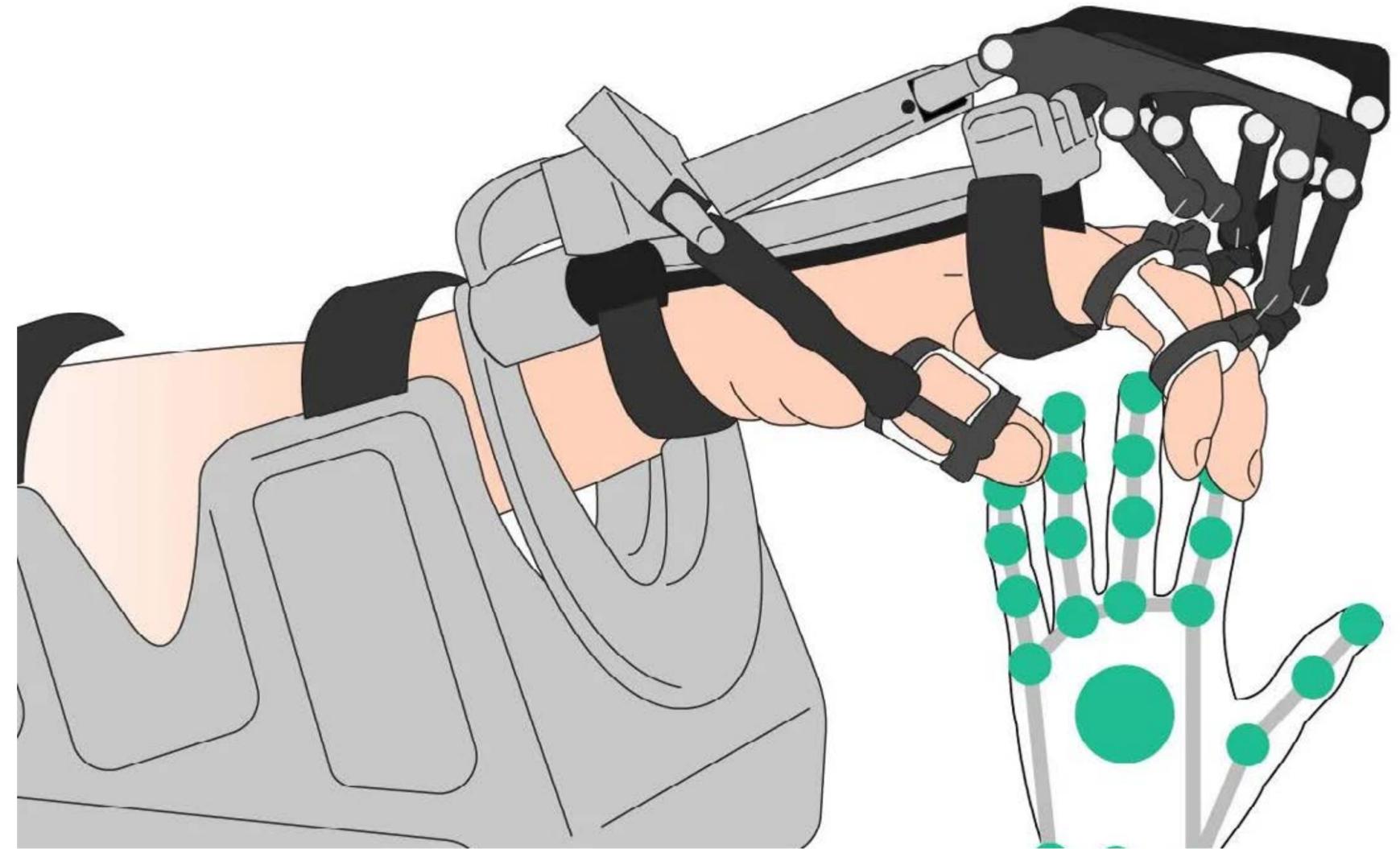
Los antecedentes revisados muestran avances en funcionalidad, pero evidencian una falta de atención al diseño estético y la experiencia del usuario. El primer caso, desarrollado por Mendoza Novillo (2023), propone un exoesqueleto controlado con Leap Motion. El sistema replica el movimiento de la mano sana, pero no considera la apariencia del dispositivo, dejando de lado el impacto visual en el usuario. Luego, el trabajo de Quillupangui Collaguazo (2023) incorpora bioseñales para evaluar la fuerza de agarre. Aunque se enfoca en

la personalización, sigue sin plantear una solución estética o emocional. Algo similar sucede con Xia et al. (2022), quienes presentan un modelo avanzado con 13 grados de libertad y control por inteligencia artificial. A pesar del enfoque técnico, no se considera la percepción del usuario.

La tesis de Díez Pomares (2021) integra sensores de fuerza para adaptar el dispositivo, y aunque hay pruebas con usuarios, el diseño sigue respondiendo solo a lo funcional. De la Cruz Sánchez (2020) trabaja en instrumentación y control, logrando un prototipo útil.

En el caso de Alvarado Huaranga y Sánchez Milla (2023), se diseñó una ortesis post ACV centrada en una base técnica. Por último, Reyes Tejedor (2023) propone un modelo parametrizable con mejoras en ergonomía, aunque sin profundizar en lo simbólico ni en la conexión emocional.

Todos estos trabajos apuntan a resolver el movimiento, pero dejan de lado cómo influye el diseño en la aceptación y bienestar del usuario. Este proyecto busca ocupar ese vacío.



IMG#18

1.5 CONCLUSIÓN

A partir de la situación actual en el estado del arte, los exoesqueletos son dispositivos que ayudan a rehabilitaciones fisioterapéuticas y, aunque existen numerosos modelos disponibles, aún presentan limitaciones en cuanto a diseño, es por ello que se ha analizado la necesidad de integrar funcionalidad y estética en el diseño de exoesqueletos destinados a la rehabilitación de personas con discapacidad. A partir del estado del arte realizado, se estableció un punto de partida para

comprender los avances existentes y las limitaciones actuales en el diseño de estos dispositivos. Este análisis permitió identificar que, si bien la funcionalidad es prioritaria, la estética sigue siendo un aspecto desatendido que afecta la experiencia del usuario. Desde la perspectiva del Diseño de Productos, se plantea que la integración de ambos aspectos no solo complementa la funcionalidad, sino que también influye directamente en la autoestima y en la percepción de quienes utilizan estos dispositivos.

Proponer soluciones que transformen el exoesqueleto de un aparato clínico a un objeto más estético-funcional representa una oportunidad para mejorar tanto la aceptación como la efectividad del tratamiento, estableciendo un enfoque que responde de manera más integral a las necesidades emocionales y prácticas de los usuarios.



2.1. INTRODUCCIÓN

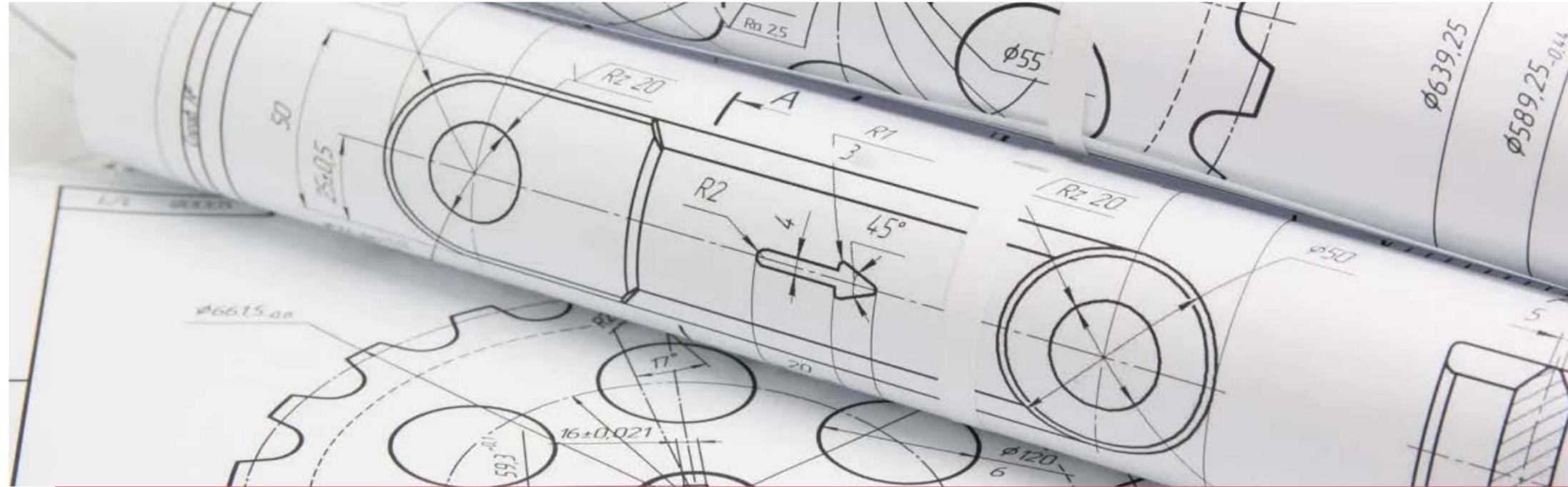
En el capítulo 2 se presenta el marco teórico que sustenta esta investigación, orientado al desarrollo de un exoesqueleto para la rehabilitación de la mano, donde se busca integrar funcionalidad y estética. Se aborda en primer lugar, la arquitectura del producto, la cual proporciona una estructura clara para organizar los componentes del dispositivo. A continuación, se analiza la biomecánica, la cual es importante para comprender el movimiento humano y su aplicación en el diseño. Posteriormente, se estudian los mecanismos necesarios para materializar técnicamente el movimiento, asegurando precisión y eficacia. Finalmente, se explora la experiencia del usuario, aspecto clave para que el dispositivo no solo cumpla con su función práctica, sino que también responda a las necesidades emocionales y psicológicas de quienes lo utilizan. Estos conceptos se desarrollan de manera ordenada, construyendo un enfoque integral que considere tanto las dimensiones físicas como emocionales del usuario, sentando las bases para una solución de diseño equilibrada.



2 DO CAPÍTULO



2.2. ARQUITECTURA DEL PRODUCTO



IMG#20

Ulrich (1995) define la arquitectura del producto como el **esquema que asigna las funciones de un producto a sus componentes físicos, estructurándola en tres elementos clave: la disposición de los elementos funcionales, la asignación de estos a los componentes físicos y la especificación de las interfaces entre los componentes que interactúan.** Esta arquitectura, según el autor, establece una correlación fundamental entre los elementos funcionales y los componentes físicos. Asimismo, Ulrich distingue entre dos tipos principales de arquitectura: modular e integral. La arquitectura modular, por un lado, se caracteriza por un mapeo uno a uno entre los elementos funcionales y los componentes físicos, así como por interfaces desacopladas entre los mismos. Por otro lado, la

arquitectura integral presenta un mapeo más complejo, en el cual un elemento funcional puede relacionarse con múltiples componentes físicos, generando interfaces acopladas. A su vez, el desempeño del producto es definido por el autor como la manera en que este implementa sus elementos funcionales. Características como la velocidad, la eficiencia, la vida útil y el ruido forman parte de dicho desempeño, el cual depende tanto de las propiedades técnicas generales como de las características físicas del producto. De esta forma, Ulrich explica que la arquitectura no solo organiza la estructura del producto, sino que también influye directamente en su rendimiento técnico y funcional. A su vez, Van Wie, Greer, Campbell, Stone y Wood (2001) destacan que la arquitectura de producto constituye

una fase fundamental en el proceso de diseño, donde, mencionan, las ideas funcionales comienzan a transformarse en configuraciones espaciales concretas. Este proceso, conocido también como "diseño de configuración", abarca desde el diseño funcional hasta el diseño de realización. A su vez, los autores señalan que en esta etapa se asignan funciones a formas específicas, seleccionándose entre múltiples soluciones viables para dar forma al producto. Asimismo, explican que el resultado de este proceso es la disposición y la conectividad de las piezas y conjuntos que conforman el diseño del producto, marcando un punto de transición hacia el diseño detallado. Los autores enfatizan que este proceso no solo define cómo se organizan y conectan los componentes, sino que, a su vez,

establece una especificación física que permite avanzar hacia la materialización del producto. De este modo, la arquitectura de producto se convierte en un paso donde las decisiones tomadas impactan en la realización final del diseño. Por otro lado, Van Wie, Rajan, Campbell, Stone y Wood (2003) consideran que la arquitectura de producto es el proceso que transforma la función en diseño, destacando que este proceso es dinámico y complejo. Los autores mencionan que, en esta fase, los diseñadores deben abordar una gran cantidad de información relacionada tanto con las funciones del producto como con su forma, lo que hace que esta etapa sea fundamental dentro del diseño conceptual. A su vez, señalan que una de las principales dificultades del diseño

arquitectónico radica en la abrumadora cantidad de aspectos que deben ser considerados al transformar las funciones en formas específicas. Esta complejidad resalta la necesidad de contar con lenguajes y herramientas que permitan una representación clara, consistente y eficiente de las soluciones conceptuales. Asimismo, explican que la arquitectura de producto tiene un impacto significativo en las fases posteriores del diseño, lo que hace esencial desarrollar métodos y representaciones de alta calidad para esta etapa. En este sentido, proponen un enfoque que incluye un léxico de productos básicos como uno de los elementos fundamentales para representar y comunicar las decisiones arquitectónicas.

En relación con el análisis, la arquitectura del producto se entiende como el proceso que organiza y asigna las funciones de un diseño a componentes físicos específicos, definiendo su disposición, conectividad y forma. Esto, servirá para entender cómo interactúan los elementos funcionales y físicos. Este enfoque no solo influye en la estructura del producto, sino también en su rendimiento técnico y funcional. Asimismo, la arquitectura del producto marca una transición dentro del diseño conceptual, transformando las ideas funcionales en configuraciones concretas. A su vez, se seleccionan soluciones viables que conectan funciones con formas específicas, lo que permite avanzar hacia la materialización del producto. Por lo que, la arquitectura del producto requiere métodos y representaciones claras, dado que estas impactan directamente en las fases posteriores del desarrollo y en el desempeño final del diseño.



2.3. BIOMECAÁNICA



Freivalds (2004) define la biomecánica como la ciencia que estudia las fuerzas internas y externas que actúan sobre el cuerpo humano y los efectos producidos por estas fuerzas. Según el autor, la biomecánica se basa en la mecánica, que es la disciplina encargada de estudiar las fuerzas y sus efectos, aplicada a los sistemas biológicos. Tradicionalmente, este estudio se ha centrado en el cuerpo humano desde un nivel relativamente macro. Freivalds señala que los principios biomecánicos pueden aplicarse a sistemas en reposo, denominados estática, o a sistemas en movimiento, denominados dinámica. Estas fuerzas siempre actúan de manera simultánea; es decir, si un cuerpo ejerce una fuerza sobre otro, el segundo ejerce una fuerza de igual magnitud sobre el primero. Este principio se fundamenta en la tercera ley de Newton, también conocida como la ley de acción y reacción, que establece que, para cada acción, existe una reacción igual y opuesta. Como ejemplo, Freivalds (2004) explica que, si un operador aplica fuerza al pellizcar una herramienta o parte, esa

herramienta o parte ejerce una fuerza equivalente en sentido opuesto, como se observa en la compresión de la piel y los tejidos subyacentes.

A su vez, Nordin y Frankel (2012) consideran que la biomecánica es una rama de la bioingeniería y la ingeniería biomédica, la cual emplea conceptos de física e ingeniería para describir el movimiento de los segmentos corporales y las fuerzas que actúan durante las actividades normales. Según los autores, esta comprensión es importante para la aplicación de programas de tratamiento racionales en los trastornos musculoesqueléticos, ya que permite analizar la interrelación entre fuerza y movimiento. Además, advierten que, si las fuerzas en las áreas afectadas aumentan a niveles elevados durante el ejercicio o actividades diarias, podrían surgir efectos perjudiciales. Nordin y Frankel (2012) subrayan la importancia de esta disciplina para avanzar en el tratamiento y la prevención de trastornos musculoesqueléticos. Finalmente, Lu y Chang (2012) cotejan y definen a la biomecánica como el

estudio de la mecánica aplicada a sistemas biológicos, abarcando cargas, movimiento, estrés y deformación en sólidos y fluidos. Enfatizan que esta disciplina analiza la influencia mecánica en el movimiento, tamaño, forma y estructura del cuerpo en diferentes niveles, desde lo molecular y celular hasta tejidos, órganos y sistemas completos. Por otro lado, en el nivel molecular, la biomecánica examina cómo las fuerzas mecánicas afectan la conformación, función y transporte de biomoléculas como ADN, ARN y proteínas. A su vez los autores destacan el estudio de cómo las células perciben

fuerzas mecánicas y las convierten en respuestas biológicas, influyendo en procesos como crecimiento, diferenciación, movimiento, señalización, secreción de proteínas y regulación genética.

En relación con el análisis efectuado definimos que, la biomecánica es la ciencia que estudia las fuerzas internas y externas que actúan sobre los sistemas biológicos y los efectos que generan. Basada en los principios de la mecánica, analiza aspectos como las cargas, los movimientos, el estrés y las deformaciones en niveles

que van desde lo molecular hasta las estructuras corporales completas. Asimismo, integra conceptos de física e ingeniería para describir el movimiento y las fuerzas involucradas, lo que permite comprender la relación entre estas variables y los trastornos musculoesqueléticos. A su vez, este enfoque facilita el desarrollo de tratamientos y estrategias de prevención más eficaces. Por lo tanto, la biomecánica abarca tanto en sistemas en reposo como en movimiento, enfocándose en la interacción entre las fuerzas y las funciones del cuerpo humano.

2.4. MECANISMO

Norton (2009) menciona que un mecanismo es un dispositivo que transforma el movimiento en un patrón deseable, generalmente desarrollando fuerzas bajas y transmitiendo poca potencia. Además, señala que los mecanismos están compuestos por un sistema de elementos dispuestos para transmitir movimiento de forma predeterminada. Norton dice que esta definición puede ampliarse para describir una máquina si se añade la palabra "energía" después de "movimiento". También explica que no existe una línea divisoria clara entre mecanismos y máquinas, ya que se diferencian por el grado y no por la clase. Según el autor, si las fuerzas o niveles de energía en el dispositivo son significativos, se considera una máquina; de lo contrario, se clasifica como un mecanismo. Norton añade que, cuando los mecanismos operan a bajas velocidades y con cargas reducidas, pueden tratarse estrictamente como dispositivos cinemáticos, analizando únicamente

sus movimientos sin considerar las fuerzas. Sin embargo, en el caso de las máquinas y los mecanismos que funcionan a altas velocidades, primero deben ser analizados cinemáticamente y, posteriormente, como sistemas dinámicos, evaluando las fuerzas estáticas y dinámicas producidas por las aceleraciones

Por su parte, Levy, Doughtie y James (1969) describen un mecanismo como una combinación de cuerpos rígidos dispuestos de manera que el movimiento de uno obliga a los demás a moverse o cambiar de posición, transmitiendo o modificando una fuerza de acuerdo con una ley que depende de la naturaleza de dicha combinación. A su vez mencionan que, aunque a menudo se usan como sinónimos los términos mecanismo y máquina, en realidad, un mecanismo se refiere a la transmisión o modificación de movimiento, mientras que una máquina implica la transferencia de energía o la ejecución de trabajo.

Ejemplifican que la combinación de una manivela, una biela, guías y bastidores en una máquina de vapor constituye un mecanismo, ya que convierte un movimiento recíproco en circular. No obstante, para que este mecanismo se convierta en una máquina, es necesario incorporar elementos adicionales, como engranajes y válvulas, que permitan convertir la energía del vapor en trabajo útil. Así pues, los autores señalan que una máquina es una serie de mecanismos, pero no todos los mecanismos son máquinas.

Finalmente, Cardona i Foix (2000) manifiesta que un mecanismo es un conjunto de elementos mecánicos diseñados para cumplir una función específica dentro de una máquina. El autor resalta que los mecanismos son esenciales para que las máquinas puedan realizar las tareas para las que fueron diseñadas. Cada mecanismo tiene una función concreta que, al combinarse con las funciones de otros mecanismos, permite que la máquina



opere en su totalidad. Por ejemplo, en una lavadora, los mecanismos que abren las válvulas de admisión de agua y los que hacen girar el tambor tienen roles definidos, y juntos contribuyen al funcionamiento completo de la máquina para lavar ropa. Así, los mecanismos son componentes fundamentales que permiten a las máquinas realizar sus tareas.

En relación con el análisis, un mecanismo es un sistema de elementos mecánicos dispuesto para transformar, transmitir o modificar el movimiento de manera específica, generalmente con el objetivo de cumplir una función determinada. Estos dispositivos operan mediante la interacción de cuerpos rígidos que, al moverse, inducen el desplazamiento o la transformación del movimiento en los demás

componentes. Aunque comparten similitudes con las máquinas, los mecanismos se distinguen por su enfoque en el movimiento, mientras que las máquinas también incluyen la transferencia de energía para realizar trabajo. Así, un mecanismo puede formar parte de una máquina, actuando como un componente fundamental que contribuye al cumplimiento de una tarea mayor.



IMG#22

2.5. EXPERIENCIA DE USUARIO

Hassenzahl y Tractinsky (2006) mencionan que la experiencia de usuario es el resultado de la interacción entre el estado interno del usuario, las características del sistema diseñado y el contexto en el que se desarrolla dicha interacción. Según los autores, esta experiencia no se limita a satisfacer necesidades instrumentales, sino que se comprende como un encuentro subjetivo, situado, complejo y dinámico. En este sentido, explican que la experiencia de usuario depende del estado interno del usuario, que incluye predisposiciones, expectativas, necesidades, motivaciones y estado de ánimo; las características del sistema diseñado, como su complejidad, propósito, usabilidad y funcionalidad; y el contexto o entorno de interacción, que abarca aspectos organizacionales,

sociales, el significado de la actividad y la voluntariedad de uso. Por otro lado, los autores señalan que este enfoque amplía las oportunidades de diseño y creación de experiencias. Asimismo, destacan que el creciente interés en la experiencia de usuario, tanto en la práctica como en la investigación, se debe a que los productos interactivos han adquirido un papel relevante en la vida cotidiana. A su vez, subrayan que las tecnologías avanzadas, como gráficos, sonido, redes y miniaturización, permiten ir más allá de la funcionalidad básica, abriendo nuevas posibilidades en el diseño de experiencias.

De hecho, La International Organization for Standardization (2010) afirma que la experiencia incluye las percepciones



y respuestas de una persona como resultado del uso o de la anticipación del uso de un producto, sistema o servicio, abarcando emociones, creencias, preferencias, percepciones, respuestas físicas y fisiológicas, comportamientos y logros antes, durante y después del uso. De igual modo Knapp Bjerén (2003), menciona que la experiencia de usuario se entiende como el conjunto de percepciones, emociones y evaluaciones que el usuario experimenta al interactuar con un producto, lo cual está determinado por los objetivos del usuario, las influencias culturales y el diseño de la interfaz, describiendo tanto su origen como los elementos y factores involucrados en dicha interacción.

A su vez, Norman y Nielsen (2015) plantean que la simplicidad y la satisfacción de las necesidades específicas del cliente son importantes para una experiencia de usuario efectiva. Además, destacan que un diseño elegante no solo facilita el uso, sino que también fomenta un vínculo emocional entre el usuario y el producto, haciéndolo deseable. Por su parte, Fernández Rabadán (2022) reafirma esta relación entre estética y emociones, señalando que la belleza en el diseño no solo responde a la funcionalidad, sino que también comunica simbolismos, afecta la percepción y genera emociones que influyen en el proceso cognitivo y en la toma de decisiones. Ambos enfoques coinciden en que el diseño va más allá de lo práctico, conectando con los niveles emocionales y cognitivos del usuario. Mientras Norman y Nielsen destacan cómo la simplicidad y la estética generan apego y deseo, Fernández Rabadán profundiza en cómo estas emociones positivas estimulan el aprendizaje, la curiosidad

y la creatividad, lo que refuerza la importancia de la estética en el diseño de experiencias significativas.

Por otro lado, Norman (2004), en *Emotional Design: Why We Love (or Hate) Everyday Things*, ofrece un marco teórico que complementa este enfoque al explorar los factores que influyen en la relación entre las personas y los objetos. Propone que esta relación se fundamenta en tres niveles de procesamiento: visceral, conductual y reflexivo. El nivel visceral, que abarca la primera impresión, es clave para captar

la atención del usuario y generar una conexión inmediata con el diseño. En el nivel conductual, el énfasis está en la funcionalidad y la calidad, optimizando la efectividad del producto para ofrecer una experiencia de uso satisfactoria. Finalmente, el nivel reflexivo integra aspectos emocionales y culturales, invitando al usuario a reflexionar y generar una conexión más duradera con el producto.

La experiencia de usuario se entiende como el resultado de la interacción entre un individuo y un producto,



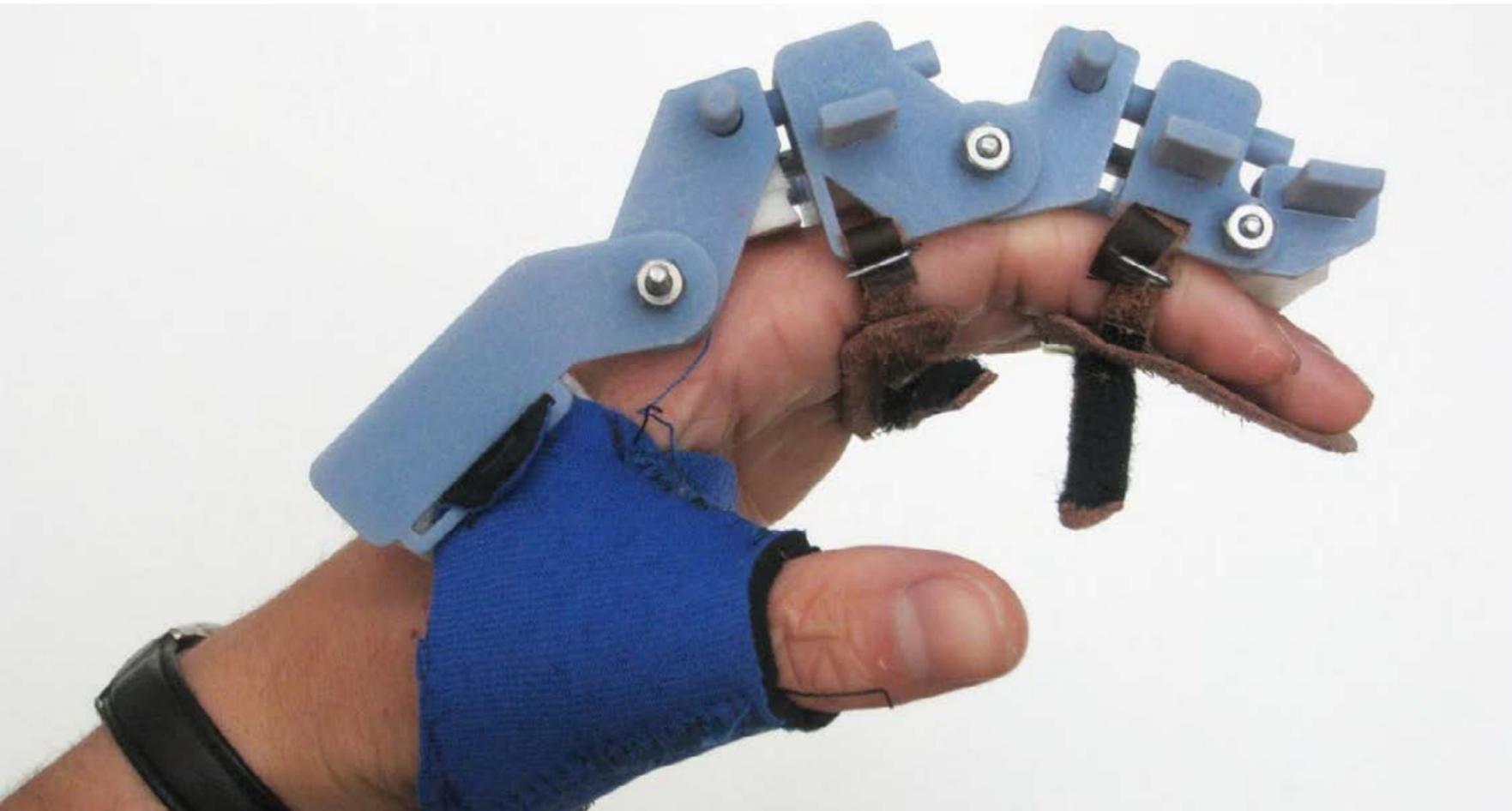
IMG#23



influida por el estado interno del usuario, las características del diseño y el contexto en el que se utiliza. Esta experiencia no solo abarca la satisfacción de necesidades funcionales, sino que también involucra aspectos emocionales y subjetivos. Las emociones, expectativas y motivaciones del usuario, junto con la usabilidad y funcionalidad del diseño, juegan un papel fundamental en cómo se percibe y utiliza el producto. Estos conceptos son esenciales al considerar el diseño de un exoesqueleto, ya que permiten

ir más allá de los aspectos puramente funcionales. Aunque muchos diseños de exoesqueletos actuales se centran en cumplir con requerimientos técnicos y de rehabilitación, suelen descuidar la estética y la percepción del usuario. Esto limita no solo su aceptación, sino también su efectividad emocional y psicológica. Según Norman y Nielsen (2015), un diseño que equilibre funcionalidad y estética no solo facilita el uso, sino que también fomenta una conexión emocional, haciendo que el producto sea más deseable y

motivador para el usuario. Asimismo, Fernández Rabadán (2022) resalta que la belleza en el diseño no solo responde a funciones prácticas, sino que también comunica simbolismos y genera emociones que influyen directamente en el proceso cognitivo y en la toma de decisiones. Esto es especialmente relevante en el desarrollo del prototipo, ya que las emociones positivas derivadas de un diseño bien logrado pueden estimular la motivación y el compromiso del usuario durante su uso.



IMG#24



2.6. CONCLUSIÓN



IMG#25

El análisis de los conceptos abordados establece un marco integral para el diseño de un exoesqueleto de rehabilitación de la mano que combine funcionalidad y estética. Cada uno de estos elementos contribuye al desarrollo de un dispositivo que responda tanto a las necesidades físicas del usuario como a su conexión emocional con el producto. La relación entre las funciones del dispositivo y sus componentes físicos, propia de la arquitectura del producto, asegura un diseño estructurado y equilibrado.

La transformación de las funciones en configuraciones concretas permite definir interfaces que optimicen

tanto el rendimiento técnico como el estético, logrando una integración fluida entre los elementos funcionales. La experiencia del usuario adquiere relevancia al diseñar un dispositivo que satisfaga sus expectativas y genere un vínculo positivo mediante un diseño funcional y estéticamente agradable. Además, el diseño debe considerar el impacto en la autoestima de quienes utilizan dispositivos terapéuticos. La integración de la biomecánica y los mecanismos de funcionamiento garantizará que el exoesqueleto replique de manera adecuada los movimientos de la mano, respetando la anatomía y proporcionando comodidad durante su uso.



BRIEF GAPÍTULO

3.1. INTRODUCCIÓN

El diseño de exoesqueletos para la rehabilitación de extremidades superiores requiere una comprensión de las necesidades de los usuarios y de los aspectos técnicos involucrados.

Para ello, se realizó una investigación que incluyó entrevistas a fisioterapeutas y pacientes, lo que permitió identificar las dificultades que enfrentan y las expectativas que tienen respecto a estos dispositivos. Con esta información, se definieron los requerimientos que el proyecto debe resolver, considerando tanto la funcionalidad como la integración estética del producto.

Además, se analizaron referentes existentes para comprender sus características formales, funcionales y tecnológicas, con el propósito de establecer criterios que guíen el desarrollo del diseño. Con base en esta información, se trabajará con la metodología design thinking, que permitirá estructurar el proceso de ideación y bocetación en función de los hallazgos y necesidades detectadas.

Finalmente, se presentarán conclusiones que sintetizan los aspectos esenciales para el desarrollo del exoesqueleto, asegurando una propuesta que responda a las necesidades identificadas.

3.2. BRIEF DE LA INVESTIGACIÓN

ANTECEDENTES

El desarrollo de este proyecto surge a partir de la necesidad de comprender más a fondo el funcionamiento y la experiencia de uso de un exoesqueleto enfocado en la rehabilitación de la mano. Si bien ya existía un prototipo previo basado en Leap Motion, su diseño estaba orientado principalmente a la parte técnica, dejando de lado aspectos formales y estéticos que también influyen directamente en la percepción del usuario. Esto motivó la necesidad de profundizar en criterios, especialmente los relacionados con los mecanismos que permiten los movimientos, las lesiones que se pueden tratar con este tipo de dispositivos y la manera en que estos interactúan con el cuerpo del paciente.

Frente a eso, se decidió desarrollar una etapa inicial de investigación centrada en la recolección de información desde distintos perfiles: el desarrollador del primer prototipo, fisioterapeutas especializados en la rehabilitación de mano y pacientes que han pasado por procesos de recuperación física. La intención fue obtener una visión más integral del problema, no solo desde el aspecto funcional, sino también desde las expectativas reales de quienes usan o aplican estos dispositivos. Comprender cómo se siente una persona al usar un exoesqueleto, qué espera de él y cómo influye su diseño en el proceso de recuperación fue parte del enfoque principal. Por esa razón, este brief de investigación no solo parte de un análisis técnico, sino también humano. La rehabilitación no es solo un proceso mecánico, es un proceso emocional, y el diseño debe responder a eso.

OBJETIVOS

- Comprender los mecanismos utilizados en la rehabilitación de la mano
- Conocer el tipo de lesiones que puede tratar un exoesqueleto
- Identificar las necesidades funcionales y estéticas que los usuarios, tanto pacientes como fisioterapeutas; esperan de este tipo de dispositivos.
- Recoger información que permita definir criterios de diseño ajustados a las expectativas reales de uso.

METODOLOGÍA

Para recopilar la información necesaria se optó por realizar entrevistas semiestructuradas a tres tipos de perfiles: el director del prototipo anterior, fisioterapeutas especializados en la rehabilitación de la mano y pacientes que han pasado por procesos de recuperación física. Esta estrategia permitió obtener una visión completa del problema desde lo técnico, lo clínico y lo vivencial. La entrevista al ingeniero a cargo del primer exoesqueleto permitió conocer de primera mano cómo funcionaban los mecanismos, qué movimientos eran posibles de replicar, cuáles eran sus limitaciones y qué tipo de lesiones se podían tratar.

En paralelo, se entrevistó a fisioterapeutas con experiencia clínica, quienes aportaron información clave sobre las enfermedades más comunes que afectan la movilidad de la mano, los tipos de terapias utilizadas y la manera en que se trabaja la biomecánica durante la rehabilitación.

Finalmente, se conversó con pacientes que compartieron su experiencia personal con procesos terapéuticos, enfocándose en la comodidad, la estética y el impacto emocional que puede tener el uso de un dispositivo como este. Toda esta información sirvió como base para definir los criterios de

diseño y elaborar perfiles de usuario, entendiendo que el desarrollo de un exoesqueleto no puede partir solo desde lo técnico, sino desde lo que las personas realmente necesitan y sienten al usarlo.

RESULTADOS

Las entrevistas realizadas permitieron identificar hallazgos clave que marcaron el rumbo del diseño. A nivel técnico, se confirmó que el exoesqueleto previo lograba replicar movimientos de los dedos mediante servomotores controlados por un sensor Leap Motion. También se evidenció que no había sido probado con pacientes reales, lo que dejó en claro la necesidad de trabajar con criterios más humanos desde el inicio del proyecto. Desde la perspectiva clínica, los fisioterapeutas señalaron que las lesiones más comunes que afectan la movilidad de la mano provienen de ACV, fracturas o traumatismos.

Coincidieron en que un buen exoesqueleto debe ser fácil de colocar, seguro durante su uso y respetar los rangos naturales de movimiento, además de entender que un paciente con ACV no podrá realizar movimientos agudos durante sus primeras etapas de rehabilitación. También destacaron la importancia de que el diseño del dispositivo no genere incomodidad ni rechazo visual por parte del paciente. Por parte de los pacientes entrevistados, se pudo conocer que muchos nunca habían utilizado un exoesqueleto, pero manifestaron que estarían dispuestos a hacerlo si el dispositivo fuera cómodo, fácil de usar y visualmente agradable. Para ellos, el diseño influye directamente en cómo se sienten al usarlo, ya que no quieren portar un objeto que les recuerde constantemente su limitación.



BRIEF DE INVESTIGACIÓN 1

SECCIÓN	CONTENIDO
TITULO	Diseño de un exoesqueleto para la rehabilitación física de la Mano
DESARROLLO	BRIEF DE INVESTIGACIÓN 1
ELABORADO POR	JUAN FRANCISCO PERALTA SARI
VISIÓN GENERAL	Recabar información acerca del desarrollo del exoesqueleto
NECESIDAD	Identificar y analizar los mecanismos utilizados en la rehabilitación de la mano para restaurar su funcionalidad.
DATOS CLAVE	<ul style="list-style-type: none"> • Movimientos que el exoesqueleto permite realizar • Mecanismos empleados para generar los movimientos de la mano. • Lesiones que el exoesqueleto puede tratar
METODOLOGÍA	Entrevistas semiestructuradas.
PREGUNTAS	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué tipo de lesiones puede ayudar a recuperar el exoesqueleto desarrollado? • ¿Qué movimientos de la mano permite imitar el exoesqueleto? • ¿Cuáles son los mecanismos que usa el exoesqueleto? • ¿Existen limitaciones en cuanto a los movimientos que el dispositivo puede realizar? • ¿Se ha comprobado la eficacia del dispositivo en la rehabilitación de pacientes con lesiones? • ¿Qué resultados relevantes han obtenido durante las pruebas realizadas? • ¿Cuál ha sido la retroalimentación de fisioterapeutas?

Tabla 1 BRIEF DE INVESTIGACIÓN 1

RESULTADOS

3.3. INFORMACIÓN: ENTREVISTA REALIZADA AL INGENIERO ESTEBAN JAVIER MORA

El desarrollo del exoesqueleto presentado en la entrevista tiene como objetivo principal apoyar la rehabilitación de personas con hemiplejía, una condición que, en la mayoría de los casos, se produce como consecuencia de un accidente cerebrovascular (ACV). Esta parálisis afecta al lado del cuerpo opuesto al hemisferio cerebral lesionado, y el diseño del dispositivo busca facilitar la recuperación mediante la coordinación entre las extremidades sana y afectada.

El prototipo incorpora un sensor Leap Motion que capta los movimientos de la mano sana (generalmente la derecha) y los replica en la mano afectada (en este caso, la izquierda). Este sistema permite al paciente recibir retroalimentación tanto visual como motriz, lo cual es determinante en los procesos de rehabilitación. A diferencia de la técnica de rehabilitación con espejos, que se limita a proporcionar retroalimentación visual al cerebro mediante el reflejo de la mano sana, este dispositivo añade el componente del movimiento real en la extremidad afectada, favoreciendo así una rehabilitación bilateral más efectiva.

En cuanto con los movimientos que puede realizar el exoesqueleto, el sensor detecta con precisión los gestos de los dedos y la muñeca, aunque este prototipo está enfocado en los dedos. Para garantizar la seguridad del usuario, se han incorporado restricciones mecánicas que evitan lesiones, como la sobre extensión; mediante la programación de los servomotores para respetar los rangos de movimiento adecuados.

El diseño también ha enfrentado retos técnicos, como el posicionamiento correcto de los servomotores, especialmente en movimientos complejos como los del pulgar, que requiere un giro transversal distinto al de los otros dedos. Además, se han utilizado hilos de pescar para asegurar la durabilidad del sistema y evitar problemas de tensión durante su funcionamiento. Si bien el exoesqueleto no ha sido probado con pacientes reales debido a la ausencia de aprobación por parte de un comité de bioética, se han realizado pruebas preliminares con sujetos no patológicos.

Estas pruebas han permitido evaluar la eficacia del dispositivo en la imitación de movimientos y han brindado información para realizar ajustes en el diseño mecánico y funcional. Asimismo, la colaboración con fisioterapeutas ha sido importante, ya que estos especialistas han validado las funcionalidades del prototipo y señalando posibles áreas de mejora. Por último, se subrayó la importancia de un diseño anatómico que reproduzca fielmente las articulaciones y los movimientos de las falanges humanas. Esto incluye el control indirecto de la falange distal, un aspecto característico de la anatomía que se tuvo en cuenta durante el desarrollo del dispositivo para garantizar una rehabilitación más natural y efectiva.



BRIEF DE INVESTIGACIÓN 2

SECCIÓN	CONTENIDO
TÍTULO	Diseño de un exoesqueleto para la rehabilitación física de la Mano
DESARROLLO	BRIEF DE INVESTIGACIÓN 2
ELABORADO POR	JUAN FRANCISCO PERALTA SARI
VISIÓN GENERAL	Comprender los tratamientos existentes para rehabilitar un paciente con discapacidad física en la mano
NECESIDAD	<ul style="list-style-type: none"> • Comprender el proceso de rehabilitación de la mano. • Conocer los tratamientos aplicados en la recuperación de la movilidad y fuerza de la mano.
DATOS CLAVE	<ul style="list-style-type: none"> • Procesos importantes durante el proceso de rehabilitación. • Necesidades y expectativas de los usuarios • Importancia de la biomecánica. • Enfermedades o lesiones que pueden llegar a complicar la movilidad de la mano.
METODOLOGÍA	Entrevistas semiestructuradas
PREGUNTAS	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuáles son las enfermedades más comunes que pueden causar discapacidad en la mano? • ¿Cómo es el proceso de rehabilitación de la mano? • ¿Qué tipos de terapia se utilizan en la rehabilitación de la mano? • ¿En qué consiste la terapia bilateral y cómo se aplica en la rehabilitación de la mano? • ¿Cómo afecta un accidente cerebrovascular (ACV) a la movilidad de la mano? • ¿Cómo se debe trabajar la biomecánica de la mano en rehabilitación? • ¿Colaboran los pacientes durante la fisioterapia de la mano?

Tabla 2 BRIEF DE INVESTIGACIÓN 2

RESULTADOS

3.4. ENTREVISTAS: PROFESIONALES

LICENCIADO CARLOS MORALES FISIOTERAPEUTA

Se recabó información para continuar con el proyecto, abordando aspectos relacionados con la recuperación de la funcionalidad. Se destacó la importancia de la coherencia articular y muscular en la rehabilitación, considerando elementos como el agarre, la motricidad fina y gruesa, la pinza y la propiocepción. Se diferenciaron dos enfoques principales de rehabilitación.

El primero es el traumatológico, que se enfoca en la recuperación de tejidos óseos, musculares y articulares tras una lesión, incluyendo fracturas, luxaciones y desgarros musculares. Su objetivo es restablecer la movilidad y evitar la pérdida de fuerza. El segundo es el neurológico, dirigido a alteraciones del sistema nervioso, como las secuelas de un accidente cerebrovascular, afectando el tono muscular y la espasticidad. En estos casos, la terapia busca la reeducación del movimiento, el control de la espasticidad y la estimulación de las funciones motoras.

Uno de los puntos más relevantes fue el papel del pulgar, ya que representa el 80% del agarre de la mano, convirtiéndolo en un aspecto esencial en cualquier proceso de rehabilitación y en el diseño del exoesqueleto. También se abordó la rehabilitación espejo, basada en las neuronas espejo, donde la mano sana guía a la afectada a través de la repetición de movimientos. Esto refuerza la utilidad de un exoesqueleto que facilite este tipo de terapias.

Además, se recomendó el estudio de la biomecánica de la mano según Kapandji, quien clasifica sus movimientos en distintos niveles: articular, ligamentoso, tendinoso, muscular, nervioso y óseo. Esta información es relevante para lograr un diseño ergonómico y funcional. En el diseño del exoesqueleto deben considerarse factores como la espasticidad y el ton muscular alto en pacientes neurológicos, que pueden dificultar la movilidad, así como el dolor y la rigidez articular, que podrían afectar la aceptación del dispositivo.

La evaluación previa del paciente es fundamental para determinar el grado de afectación y adaptar el exoesqueleto a sus necesidades. Esta información refuerza la importancia de un diseño adaptable a distintos tipos de usuarios y respalda el uso de sensores para replicar los movimientos de la mano sana en la afectada. Asimismo, confirma que la aceptación del exoesqueleto no solo depende de su funcionalidad, sino también de la comodidad y reducción de molestias, lo que se relaciona directamente con la integración de la estética en el diseño.



SEGUNDA ENTREVISTA: DR. ROMMEL OCHOA FISIOTERAPEUTA

El fisioterapeuta menciona que es necesario tomar en cuenta la importancia de la rehabilitación de la mano, ya que esta es una estructura fundamental para la independencia del paciente. Las lesiones o discapacidades pueden afectar significativamente la calidad de vida y la funcionalidad, por lo que un tratamiento adecuado es clave para la recuperación. Uno de los casos más comunes en los que se requiere rehabilitación de la mano es la hemiplejía, una condición que afecta un lado del cuerpo debido a un daño neurológico, como un accidente cerebrovascular.

En estos pacientes, la movilidad de la mano se ve reducida o anulada, lo que dificulta realizar actividades básicas. El fisioterapeuta enfatiza que la recuperación en estos casos debe enfocarse en estimular la función de la mano afectada a través de ejercicios repetitivos que fomenten la neuroplasticidad, es decir, la capacidad del cerebro para reorganizarse y recuperar habilidades motoras. Entre los tratamientos existentes, la terapia física y ocupacional juega un papel esencial.

A través de ejercicios de movilidad, fuerza y coordinación, se busca restaurar las funciones de la mano. En pacientes con hemiplejía, se trabaja en la reeducación del movimiento mediante ejercicios pasivos, activos asistidos y activos, dependiendo del grado de afectación.

También se emplean técnicas de estimulación sensorial para mejorar la respuesta neuromuscular y prevenir la rigidez articular. Por otro lado, el uso de férulas y ortesis es una estrategia común para estabilizar y alinear la mano durante el proceso de rehabilitación.

En pacientes con hemiplejía, estos dispositivos ayudan a evitar deformidades, mantener una postura adecuada y facilitar el movimiento. Su diseño depende del tipo y gravedad de la lesión, así como de los objetivos terapéuticos de cada paciente. El especialista también resalta la importancia de la terapia con tecnología asistida. En este sentido, el uso de exoesqueletos y dispositivos de realidad virtual está revolucionando la rehabilitación, ya que permite realizar movimientos guiados y repetitivos que favorecen la neuroplasticidad.

En pacientes con hemiplejía, estas herramientas pueden ser de gran utilidad para recuperar la movilidad de la mano afectada, complementando las terapias tradicionales y acelerando el proceso de recuperación. Finalmente, se menciona que un enfoque multidisciplinario es clave para el éxito del tratamiento.

La colaboración entre fisioterapeutas, terapeutas ocupacionales, neurólogos y especialistas en biomecánica garantiza un plan de rehabilitación personalizado, adaptado a las necesidades específicas de cada paciente. Se destaca también la importancia de la motivación del paciente y su entorno, ya que la constancia y el compromiso con la terapia son fundamentales para lograr avances significativos.

TERCERA ENTREVISTA FISIOTERAPEUTA LUCÍA CHÁVEZ

La rehabilitación comienza con una evaluación detallada del paciente, que incluye la recopilación de datos personales, historia clínica y el motivo de consulta, enfatizando la identificación del dolor, que puede afectar significativamente la elección del tratamiento. Los pacientes pueden presentar diferentes patrones de movimiento debido a daños en la corteza cerebral, un aspecto que se ve afectado en aquellos que han sufrido un accidente cerebrovascular (ACV). La doctora explica que, dependiendo de la naturaleza del ACV, ya sea isquémico o hemorrágico, los pacientes a menudo desarrollan patrones de movimiento distintivos.

Generalmente, presentan un patrón flexor en el miembro superior, donde la mano tiende a estar flexionada, mientras que el miembro inferior puede mostrar un patrón extensor. Este tipo de daño en la corteza cerebral puede llevar a una pérdida significativa de control motor y funcionalidad. Es vital considerar las fases de recuperación, que varían desde una fase flácida, donde el control del movimiento es mínimo, hasta una fase espástica, que requiere enfoques terapéuticos distintos. Una parte crucial del tratamiento implica la terapia bilateral, que utiliza la mano sana para estimular la mano afectada, ayudándola a recordar movimientos naturales.

Para facilitar este proceso, se pueden usar dispositivos como exoesqueletos; sin embargo, es fundamental ajustarlos correctamente para evitar incomodidades o dolor. Específicamente, se debe evitar el uso de materiales como el velcro, ya que puede causar incomodidad debido a la sensibilidad de la piel del paciente. El velcro puede generar molestias, lastimar la piel o incluso comprometer

la circulación si se ajusta demasiado. Por lo tanto, seleccionar materiales que ofrezcan soporte sin causar daño. Un aspecto importante también a tomar en cuenta, deberá ser el color del exoesqueleto ya que este, puede influir en la percepción y experiencia del usuario.

En cuanto a la duración de las sesiones de fisioterapia, se ha destacado que, en el caso de los pacientes musculoesqueléticos, la rehabilitación suele durar alrededor de 40 minutos y puede ser más rápida.

En contraste, los pacientes que han sufrido un ACV requieren sesiones más prolongadas, que pueden variar de una hora a una hora y media, debido a la complejidad de su recuperación y a la necesidad de abordar la modulación del tono muscular y otros aspectos específicos del tratamiento. A menudo, se busca una terapia intensiva, especialmente durante los primeros seis meses después del ACV, que son críticos para prevenir complicaciones a largo plazo.

La progresión en la rehabilitación debe ser gradual, comenzando con ejercicios sencillos y aumentando la dificultad conforme el paciente demuestra avances y capacidad de respuesta al tratamiento. También es pertinente integrar tecnología, como sensores de movimiento, que pueden facilitar la terapia al mantener al paciente enfocado en sus acciones, mejorando su propiocepción y motivación durante el proceso. La implementación de estas técnicas y tecnologías permite ofrecer un tratamiento más efectivo y personalizado, crucial para la recuperación de la función en la mano.



CUARTA ENTREVISTA:

JOHHANA BARROS

El fisioterapeuta menciona que es necesario tomar en cuenta la importancia de la rehabilitación de la mano, ya que esta es una estructura fundamental para la independencia del paciente. Las lesiones o discapacidades pueden afectar significativamente la calidad de vida y la funcionalidad, por lo que un tratamiento adecuado es clave para la recuperación.

Uno de los casos más comunes en los que se requiere rehabilitación de la mano es la hemiplejía, una condición que afecta un lado del cuerpo debido a un daño neurológico, como un accidente cerebrovascular.

En estos pacientes, la movilidad de la mano se ve reducida o anulada, lo que dificulta realizar actividades básicas. El fisioterapeuta enfatiza que la recuperación en estos casos debe enfocarse en estimular la función de la mano afectada a través de ejercicios repetitivos que fomenten la neuroplasticidad, es decir, la capacidad del cerebro para reorganizarse y recuperar habilidades motoras. Entre los tratamientos existentes, la terapia física y ocupacional juega un papel esencial.

A través de ejercicios de movilidad, fuerza y coordinación, se busca restaurar las funciones de la mano. En pacientes con hemiplejía, se trabaja en la reeducación del movimiento mediante ejercicios pasivos, activos asistidos y activos, dependiendo del grado de afectación. También se emplean técnicas de estimulación sensorial para mejorar la respuesta neuromuscular y prevenir la rigidez articular. Por otro lado, el uso de férulas y ortesis es una estrategia común para estabilizar y alinear la mano durante el proceso de rehabilitación.

En pacientes con hemiplejía, estos dispositivos ayudan a evitar deformidades, mantener una postura adecuada y facilitar el movimiento. Su diseño depende del tipo y gravedad de la lesión, así como de los objetivos terapéuticos de cada paciente. El especialista también resalta la importancia de la terapia con tecnología asistida. En este sentido, el uso de exoesqueletos y dispositivos de realidad virtual está revolucionando la rehabilitación, ya que permite realizar movimientos guiados y repetitivos que favorecen la neuroplasticidad.

En pacientes con hemiplejía, estas herramientas pueden ser de gran utilidad para recuperar la movilidad de la mano afectada, complementando las terapias tradicionales y acelerando el proceso de recuperación. Finalmente, se menciona que un enfoque multidisciplinario es clave para el éxito del tratamiento.

La colaboración entre fisioterapeutas, terapeutas ocupacionales, neurólogos y especialistas en biomecánica garantiza un plan de rehabilitación personalizado, adaptado a las necesidades específicas de cada paciente. Se destaca también la importancia de la motivación del paciente y su entorno, ya que la constancia y el compromiso con la terapia son fundamentales para lograr avances significativos.

BRIEF DE INVESTIGACIÓN 3

SECCIÓN	CONTENIDO
TÍTULO	Diseño de un exoesqueleto para la rehabilitación física de la Mano
DESARROLLO	BRIEF DE INVESTIGACIÓN 3
ELABORADO POR	JUAN FRANCISCO PERALTA SARI
VISIÓN GENERAL	Comprender las sensaciones del paciente, al realizar los ejercicios de fisioterapia
NECESIDAD	<ul style="list-style-type: none"> Comprender como es el proceso de rehabilitación desde el punto de vista de los pacientes
DATOS CLAVE	<ul style="list-style-type: none"> Determinar cuánto tiempo pueden realizar ejercicios antes de experimentar fatiga y si la terapia actual ayuda a mejorar la resistencia. Evaluar si los pacientes han notado mejoras en la movilidad y fuerza de la mano con los tratamientos actuales. Explorar la opinión de los pacientes sobre el posible uso de un exoesqueleto en su rehabilitación. Conocer qué tan fácil o difícil es para los pacientes realizar actividades diarias después de la terapia. Identificar si los pacientes se sentirían cómodos usando un exoesqueleto durante la terapia Qué factores influirían en su aceptación
METODOLOGÍA	Entrevistas a semiestructuradas
PREGUNTAS	<ul style="list-style-type: none"> ¿Cómo te sientes cuando realizas los ejercicios de terapia? ¿Cuánto tiempo dura normalmente tu sesión de terapia? ¿Sientes que es suficiente? ¿Notas que tu mano se cansa rápidamente durante la terapia? ¿Cuánto tiempo pasa antes de que sientas fatiga? ¿Sientes dolor al hacer los ejercicios? Si es así, ¿en qué parte de la mano y cómo describirías el dolor? ¿Has notado mejoras en la movilidad o fuerza de tu mano con la terapia? ¿Qué tan fácil o difícil es para ti realizar actividades diarias con la mano afectada después de la terapia? ¿Crees que el uso de un exoesqueleto podría ayudarte a mejorar la movilidad de tu mano? ¿Por qué? ¿Te sentirías cómodo/a utilizando un exoesqueleto para tu mano durante la terapia? ¿Tienes alguna inquietud sobre el uso de un exoesqueleto en tu rehabilitación? ¿Qué te gustaría que cambiara en la terapia para que fuera más efectiva o cómoda para ti?

Tabla 3 BRIEF DE INVESTIGACIÓN 3



RESULTADOS

3.5. ENTREVISTAS: PACIENTES

Samantha Parra, sufrió la fractura en su muñeca

La paciente experimenta limitaciones y frustración por el progreso lento, pero al realizar más sesiones nota mejoras en la fuerza y el control de la mano. Sin embargo, aún enfrenta dificultades con movimientos específicos, lo que pone en evidencia la necesidad de estrategias más precisas en la terapia. La duración de las sesiones tarda alrededor de 40 minutos

El paciente menciona que realizar más ejercicios a lo largo del día ayudaría, lo que resalta la importancia de complementar la rehabilitación con actividades en casa. Además, la fatiga aparece tras unos 30 minutos, lo que limita su desempeño y obliga a hacer pausas, indicando que la resistencia muscular sigue siendo un desafío.

El dolor, aunque tolerable, se localiza en la muñeca y la base de los dedos, especialmente al hacer movimientos con peso. Esto sugiere que la terapia debe equilibrar la intensidad del esfuerzo para evitar molestias excesivas.



IMG#26

A pesar de las dificultades, el paciente reconoce mejoras en su agarre y movilidad, aunque tareas que requieren precisión, como abrochar botones, siguen siendo complicadas. El uso de un exoesqueleto le parece una opción viable para reducir la fatiga y mejorar su rendimiento en la terapia. Sin embargo, le preocupa la posible dependencia del dispositivo y su impacto en la activación de los músculos.

También enfatiza la importancia de que no limite su movilidad ni interfiera con los ejercicios actuales. Para optimizar la rehabilitación, el paciente sugiere incluir ejercicios específicos para el meñique y adaptar la terapia a objetos cotidianos. En conjunto, su testimonio refleja la necesidad de terapias más personalizadas y dispositivos de asistencia que refuercen la recuperación sin comprometer la autonomía del paciente.



IMG#27

Segunda Entrevista: Kevin Guerrero, lesión en la mano, después de una caída en moto.

Al inicio de la terapia, el paciente experimentaba un dolor significativo debido a la debilidad e inmovilidad de su mano. Con el tiempo, este dolor ha disminuido, aunque al principio dificultaba el movimiento. Sus sesiones de terapia duran aproximadamente entre 30 y 40 minutos, y considera que han sido beneficiosas, ya que ha notado una mejora progresiva en la movilidad de su mano.

Sin embargo, siente fatiga después de realizar movimientos repetitivos o al ejercer presión durante mucho tiempo. El dolor que experimenta se localiza principalmente en la parte posterior de la muñeca, especialmente después de sesiones prolongadas de terapia.

A pesar de estas molestias, ha percibido una mejora en su movilidad. Al comienzo, le resultaba complicado realizar incluso movimientos básicos, pero con el tiempo y la práctica ha ido recuperando mayor control sobre su mano. En cuanto al uso de un exoesqueleto, el paciente cree que podría ser de gran ayuda, ya que facilitaría el movimiento y contribuiría a mejorar la funcionalidad de su mano.

No considera que tenga efectos negativos y opina que, si puede mejorar el rendimiento y la movilidad, sería una herramienta muy útil en su rehabilitación. Finalmente, sugiere que un exoesqueleto adaptado a su condición podría ser beneficioso y le gustaría probarlo para evaluar su efectividad en la recuperación de la movilidad.



Tercera Entrevista: Luis Chillogallo, lesión por caída, muñeca

Luis, de 38 años, está en rehabilitación por una lesión en la mano causada por el uso repetitivo del mouse. Al iniciar la terapia, experimentaba rigidez y dolor. Aunque aún persisten algunas molestias, ha notado cierta mejora en la movilidad. Sin embargo, la fatiga en la muñeca sigue siendo un problema. Cada sesión de terapia dura aproximadamente 40 minutos. Considera que este tiempo es adecuado.

En casa complementa los ejercicios con la aplicación de hielo para reducir la inflamación. La fatiga aparece después de unos 15 minutos, sobre todo con ejercicios de flexión con banda elástica o al apretar plastilina. Además, siente un dolor molesto en la parte lateral de la muñeca y en los dedos índice y medio, con una sensación de tensión en los tendones.

Tras esfuerzos prolongados, la mano se inflama. Ha percibido cierta mejoría en la movilidad y fuerza de la mano. Ahora puede mover los dedos con más facilidad y agarrar objetos con mayor seguridad, aunque levantar peso sigue siendo incómodo.

En días de mayor cansancio, actividades como girar una llave o sostener el celular le resultan difíciles. Considera que un exoesqueleto podría ayudarlo a recuperar la movilidad con menos inflamación y menor esfuerzo.

Le interesa que facilite los movimientos sin causar molestias. Sin embargo, le preocupa que su uso excesivo genere dependencia o afecte el fortalecimiento de su mano. Sugiere que la terapia incluya ejercicios más similares a las tareas que realiza en su trabajo, como presionar botones o manipular billetes. Además, cree que recibir más orientación sobre cómo reducir la inflamación después de usar la mano por mucho tiempo sería útil.



IMG#28

Cuarta Entrevista: Matías Dávila Lesión, hueso de la muñeca fisurado.

El paciente percibe la terapia como un proceso beneficioso tanto a nivel físico como mental, ya que le permite desenvolverse con mayor facilidad en sus actividades diarias. Aunque la duración de sus sesiones no es fija y depende de su disponibilidad, considera que el tiempo empleado es adecuado, pues ha experimentado mejoras en su bienestar general.

Durante la terapia, nota la aparición de fatiga después de aproximadamente 30 minutos de ejercicio, aunque esto no le impide completar las actividades indicadas. A pesar del cansancio, no experimenta dolor, lo que le permite mantener la constancia en su rehabilitación. Además, ha observado avances en la movilidad de su mano, especialmente en ciertos movimientos que antes estaban restringidos. Estos progresos han facilitado la realización de sus tareas cotidianas, aunque reconoce que aún enfrenta ciertas dificultades.

Respecto al uso de un exoesqueleto, considera que podría ser una herramienta útil para reducir la fatiga y proporcionarle un apoyo adicional en su recuperación. Sin embargo, anticipa que al principio podría resultarle incómodo hasta que logre adaptarse. También expresa dudas sobre el costo y mantenimiento del dispositivo, lo que sugiere que estos factores podrían influir en su decisión de utilizarlo como parte de su tratamiento.



IMG#29





IMG#30

3.6. Perfil de Usuario

PERFIL DE USUARIO PACIENTES

En base a la información tanto de pacientes, como fisioterapeutas; se plantean 2 perfiles de usuario. El primero, se enfoca en las necesidades y obstáculos de los pacientes y el segundo se enfoca en el fisioterapeuta.

Nombre: Alejandro Suarez

Edad: 40 años

Ocupación: Cajero

Condición: Rehabilitación por lesión en los tendones de los dedos de la mano derecha.

Situación / Problema

Dificultad para realizar actividades cotidianas como abrochar botones, sostener objetos pequeños o realizar movimientos precisos. Fatiga muscular recurrente tras sesiones prolongadas de terapia. Posible dolor en muñeca o dedos.

¿Quién es el usuario?

Persona en proceso de rehabilitación que busca recuperar movilidad, fuerza y precisión en la mano afectada. Presenta dificultades en actividades diarias que requieren

agarre y control fino. La terapia puede resultar agotadora, por lo que busca métodos de asistencia que reduzcan la fatiga y faciliten la recuperación. Su rehabilitación incluye terapia convencional y está abierto al uso de tecnologías como exoesqueletos.

Obstáculos

Fatiga tras 15-30 minutos de terapia, lo que afecta la constancia en los ejercicios. Dolor localizado en algunos casos. Limitaciones en la movilidad que dificultan movimientos de precisión. Temor a que la recuperación sea más lenta de lo esperado.

Influencias / Gustos / Necesidades

Influencias: Necesidad de recuperar independencia en sus actividades diarias.

Gustos: Prefiere terapias prácticas y ejercicios que imiten situaciones reales.

Necesidades: Dispositivo de asistencia ergonómico, adaptable y cómodo que no genere molestias. Terapia menos demandante físicamente. Métodos que estimulen la recuperación sin sobrecargar la mano.

Motivaciones / Objetivos

Recuperar la movilidad y fuerza en su mano para volver a trabajar sin limitaciones. Poder realizar actividades diarias sin sentir dolor o fatiga extrema. Encontrar herramientas o dispositivos que complementen su rehabilitación de manera efectiva, además que contengan un aspecto visualmente atractivo.

Frustraciones

Recuperación más lenta de lo esperado. Movimientos imprecisos que dificultan su vida diaria. Fatiga y dolor en ejercicios exigentes. Incertidumbre sobre el impacto de su lesión en su futuro laboral.



IMG#31

PERFIL DE USUARIO FISIOTERAPISTA

Nombre: Dr. Bernardo Crespo

Edad: 45 años

Ocupación: Fisioterapeuta especializado en rehabilitación neurológica

Condición: Experiencia en recuperación de pacientes con ACV y trastornos motores.

¿Quién es el usuario?

Especialista en fisioterapia enfocado en la rehabilitación de pacientes con alteraciones neurológicas y musculoesqueléticas. Su trabajo incluye evaluación, rehabilitación terapéutica y uso de tecnología asistida, como exoesqueletos.

Situación / Problema

Busca mejorar la efectividad de las terapias mediante herramientas tecnológicas que complementen los tratamientos convencionales. Requiere dispositivos que faciliten la recuperación motora sin generar incomodidad al paciente.

Obstáculos

Limitaciones en la movilidad de los pacientes, fatiga durante las sesiones, resistencia de algunos pacientes a nuevas tecnologías. Adaptabilidad de los dispositivos a diferentes niveles de lesión y tono muscular.

Influencias / Gustos / Necesidades

Influencias: Experiencia clínica y avances en tecnología de rehabilitación.

Gustos: Métodos basados en neuroplasticidad y terapia funcional.

Necesidades: Herramientas ergonómicas y ajustables que faciliten la recuperación del paciente sin aumentar su fatiga o dolor.

Motivaciones / Objetivos

Optimizar la recuperación de sus pacientes utilizando tecnología. Implementar exoesqueletos como complemento terapéutico para mejorar la movilidad y funcionalidad de la mano en pacientes que necesiten rehabilitación.

Frustraciones

Falta de constancia de los pacientes a la terapia. Dispositivos poco accesibles. Dificultad para apoyar a los pacientes con herramientas adecuadas.



3.7. ANÁLISIS HOMÓLOGOS



IMG#32



Diseñar un exoesqueleto para rehabilitación no empieza con un boceto, empieza entendiendo lo que ya existe. Antes de definir una propuesta, es necesario analizar cómo otros proyectos han enfrentado el mismo problema: qué mecanismos han usado, cómo han resuelto la movilidad, qué tan funcionales han sido y cómo han sido recibidos por los usuarios. Este análisis busca identificar aciertos, limitaciones y vacíos en los diseños existentes, tanto en lo técnico como en lo estético. A partir de eso, se establecen criterios más claros para el desarrollo de un dispositivo que no solo cumpla su función, sino que también conecte con las personas que lo van a usar.

FORMA

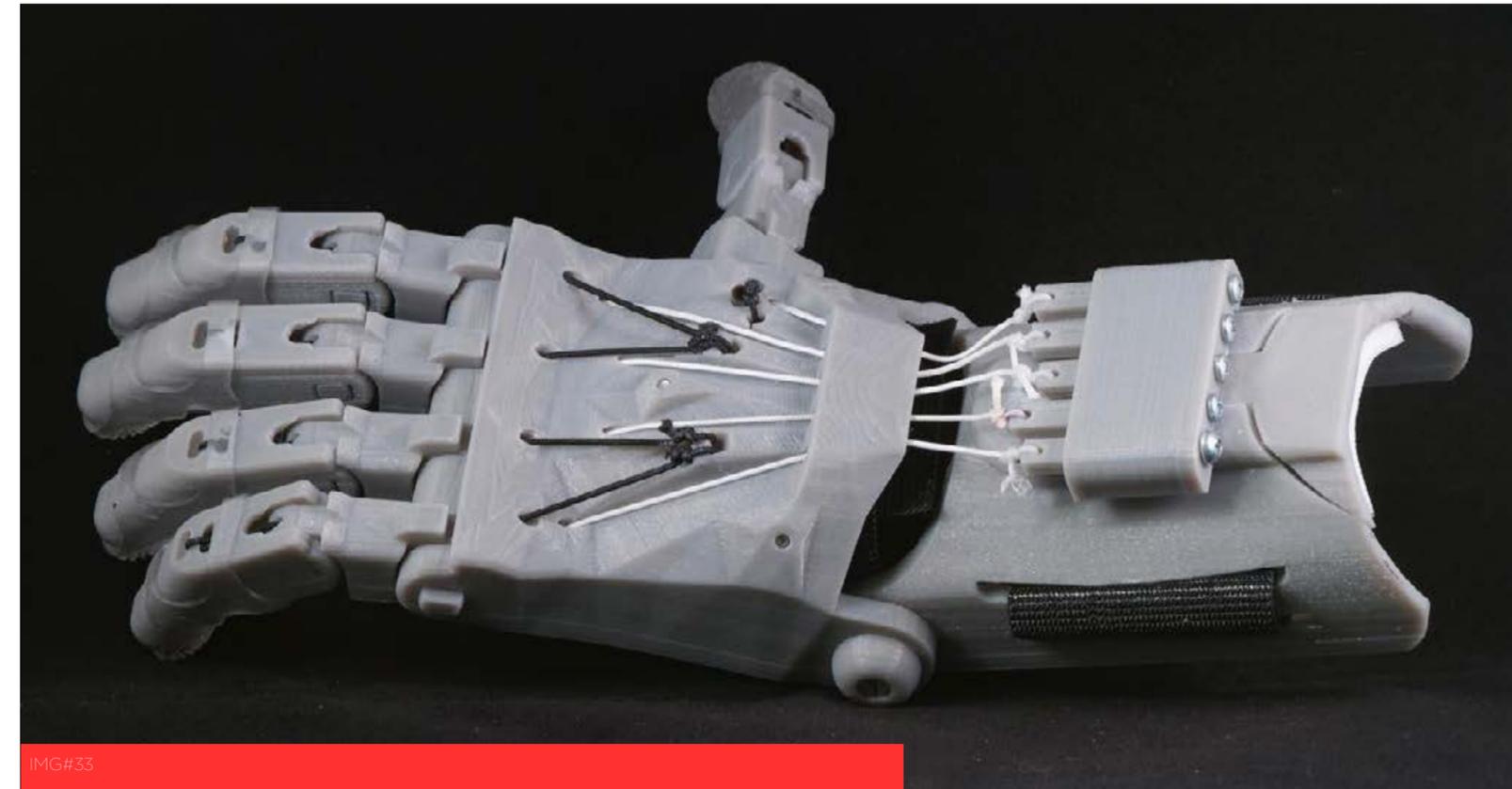
Aspecto industrial que tiene, con una estructura mecánica expuesta que resalta su funcionalidad. **La combinación de fibra de carbono y elementos metálicos** le da un carácter sofisticado. La forma en la que el usuario puede introducir la mano en lo que parece un guante es interesante, ya que permite una integración más natural con el cuerpo.

FUNCIÓN

Las articulaciones mecánicas siguen la anatomía de la mano, por lo que genera, una experiencia de uso intuitiva. El diseño modular podría facilitar ajustes para distintos usuarios

TECNOLOGÍA

El uso de **fibra de carbono** es un gran aporte, ya que reduce peso sin sacrificar resistencia. Los mecanismos parecen bien articulados y podrían incorporar sensores o sistemas de retroalimentación para mejorar la experiencia del usuario.



IMG#33

FORMA

El diseño se basa en formas geométricas angulares, lo que le da un aspecto mecánico y estructurado. En lugar de buscar una apariencia completamente orgánica, este enfoque geométrico parece optimizar la fabricación por impresión 3D, facilitando la producción de piezas. Las uniones entre los segmentos de los dedos y la palma se ven definidas por planos rectos y bordes marcados, lo que refuerza su estética de ingeniería.

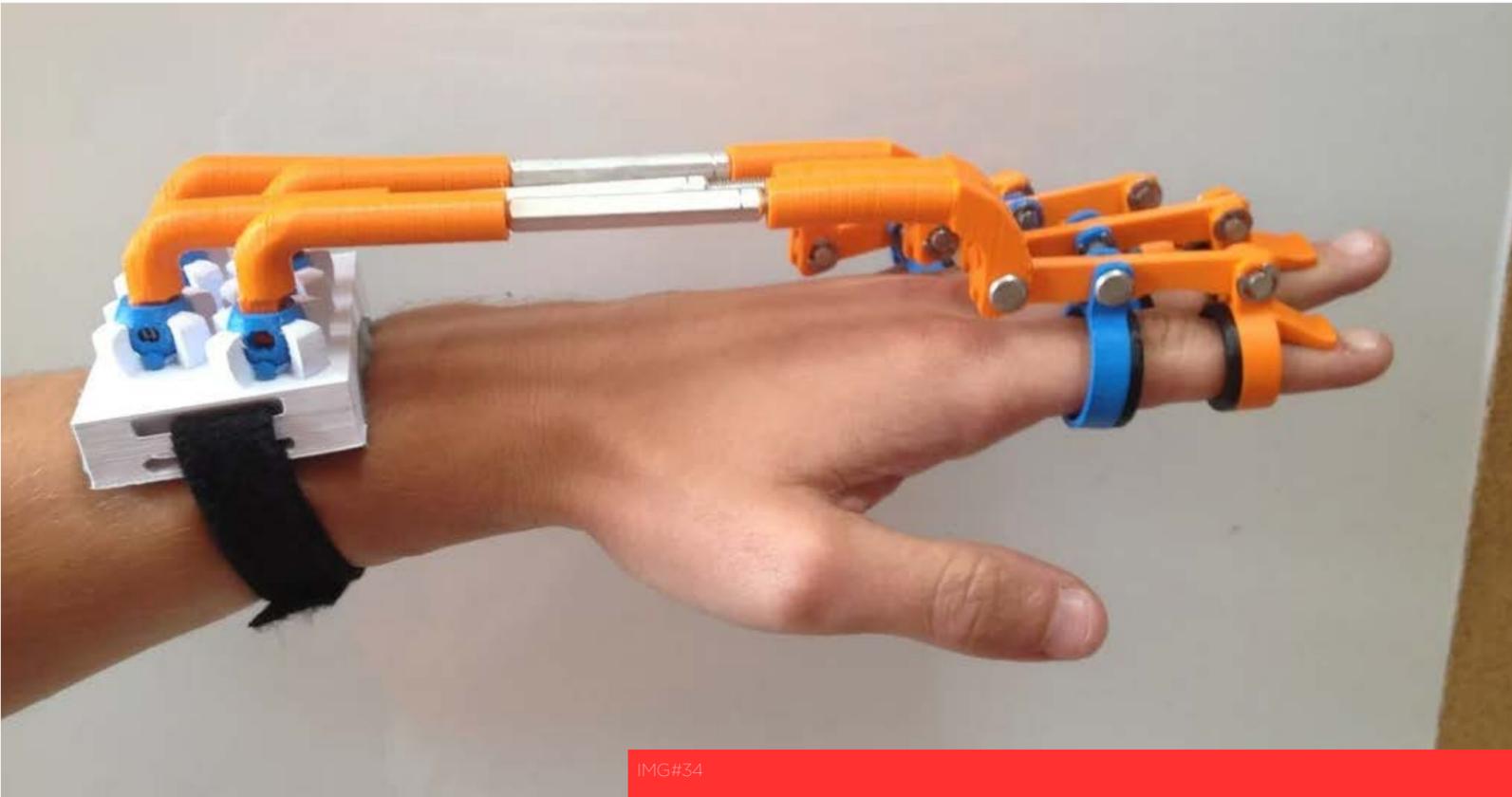
FUNCIÓN

La distribución de los planos y cortes en la superficie ayuda a mantener la solidez sin aumentar demasiado el peso. El sistema de cables externos sigue una lógica funcional clara, imitando los tendones de la mano.

TECNOLOGÍA

La construcción basada en geometría poligonal parece optimizada para impresión 3D, posiblemente en materiales como PLA o ABS. Este tipo de diseño puede ser eficiente para la manufactura rápida y la personalización de piezas según las necesidades del usuario.





IMG#34

FORMA

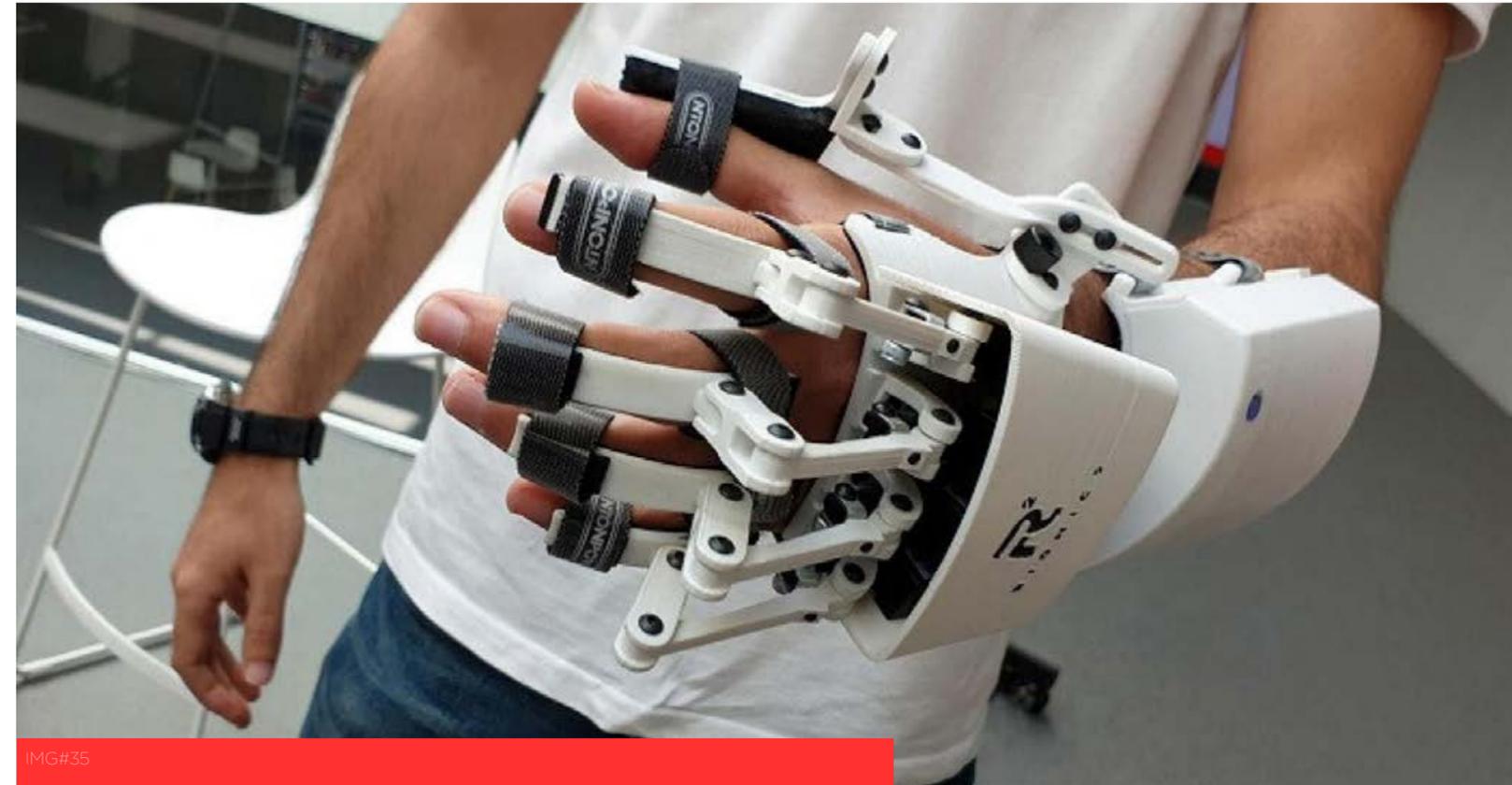
Diseño ligero en comparación con los anteriores, lo que mejora la portabilidad. Sin embargo, su estructura sigue mostrando cierta fragilidad en sus componentes.

FUNCIÓN

Peso reducido, permitiendo mayor comodidad y menor restricción en el movimiento. Ausencia de sistemas de asistencia mecánica o electrónica lo que puede hacer que la fuerza aplicada por el usuario no se transmita de manera óptima.

TECNOLOGÍA

Uso de materiales plásticos y componentes ensamblados que facilitan la producción y personalización, pero pueden afectar la durabilidad y resistencia del dispositivo.



IMG#35

FORMA

Diseño más ergonómico en comparación con los anteriores. Integra mejor las piezas mecánicas y electrónicas, logrando una apariencia más estilizada. Sin embargo, su tamaño sigue siendo considerable, lo que podría afectar la portabilidad.

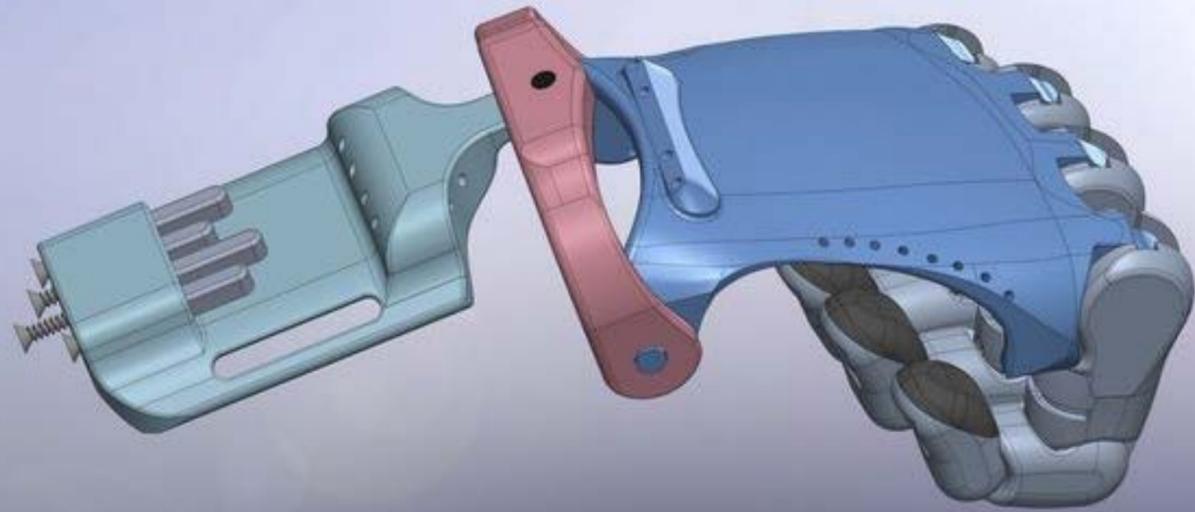
FUNCIÓN

Precisión en los movimientos debido a su estructura articulada y sus mecanismos de asistencia. Aun así, la rigidez de algunos componentes podría afectar la fluidez de los movimientos naturales, y su peso podría generar incomodidad en usos prolongados.

TECNOLOGÍA

Combinación de materiales metálicos y plásticos para mejorar la durabilidad. Integra sistemas de asistencia mecánica que podrían facilitar los movimientos.





IMG#36

FORMA

Diseño compacto y minimalista con una estructura liviana. Su forma **se adapta bien a la mano**, priorizando la comodidad y facilidad de uso. Sin embargo, la cobertura parcial de la mano puede limitar su aplicación en tareas más exigentes.

FUNCIÓN

Su estructura ligera y simplificada permite mayor movilidad y comodidad. Falta de múltiples puntos de articulación y asistencia mecánica podría restringir su capacidad de replicar movimientos complejos con precisión.

TECNOLOGÍA

Diseño basado en impresión 3D y componentes mecánicos básicos.



IMG#37

FORMA

Diseño ligero y abierto, compuesto por una estructura tipo esqueleto que cubre la mano y parte del antebrazo. **Su estética es minimalista, con un enfoque en la movilidad y la flexibilidad.**

FUNCIÓN

Mayor libertad de movimiento en comparación con diseños más rígidos, permitiendo que la mano se desplace de manera más natural. Sin embargo, su estructura expuesta podría limitar la fuerza que puede aplicar y su precisión en tareas delicadas.

TECNOLOGÍA

Incorpora materiales livianos y mecanismos de tracción por cables o bandas elásticas.





IMG#38

FORMA

Diseño más robusto y estructurado, con componentes rígidos y un sistema de soporte en el antebrazo para mejorar la estabilidad. La combinación de materiales metálicos y plásticos le da una apariencia más avanzada y funcional.

FUNCIÓN

Mejor asistencia en los movimientos de la mano, ya que su estructura proporciona soporte y estabilidad.

TECNOLOGÍA

Utiliza un sistema mecánico con articulaciones que pueden estar asistidas por motores o elementos neumáticos.

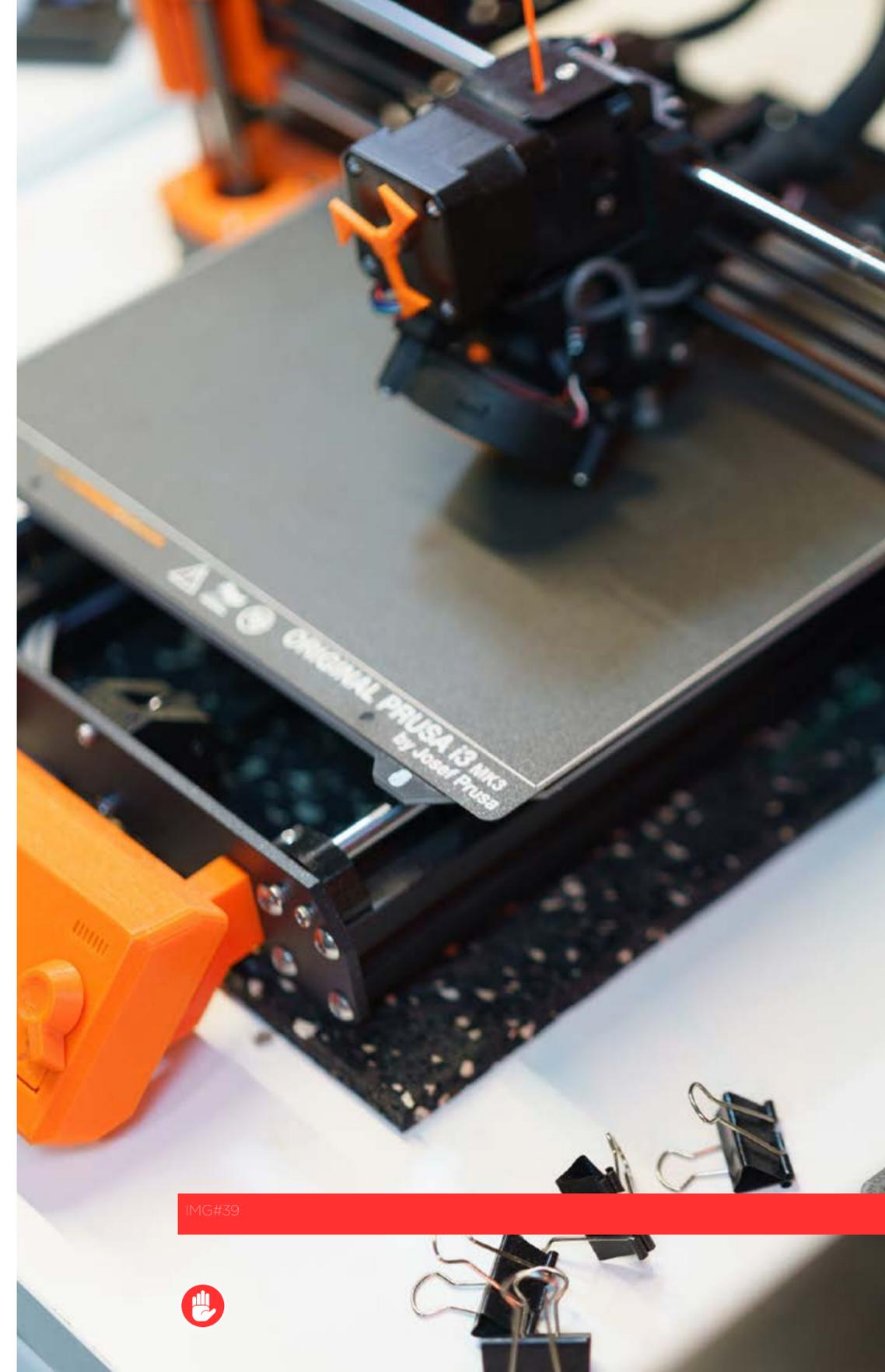


HALLAZGOS

Al revisar los referentes, se evidenció que existen numerosos diseños de exoesqueletos, cada uno enfocado en resolver necesidades distintas según su planteamiento.

Este análisis permitió entender cómo se han abordado los mecanismos, cómo se estructura el movimiento en función de la anatomía de la mano, y de qué manera los proyectos buscan ofrecer una nueva oportunidad a personas con discapacidad física.

Un aspecto que destaca es el uso frecuente de tecnologías como la impresión 3D, que ha facilitado la fabricación y adaptación de estos dispositivos, haciendo más accesible su desarrollo y personalización.



IMG#39



3.8. IDEACIÓN

Para iniciar el proceso de ideación, se empleará la metodología design thinking, que permitirá estructurar el desarrollo del producto y orientar el diseño en función de las necesidades del usuario. Esta metodología se basa en cinco etapas que guían el proceso de manera iterativa, facilitando la identificación de problemas, la exploración de soluciones y la materialización de una propuesta que responda tanto a los requerimientos funcionales como a la experiencia del usuario.

Al seguir este enfoque, se busca integrar de forma efectiva los hallazgos obtenidos en la investigación con el desarrollo del exoesqueleto, asegurando que el diseño final sea viable y adecuado para su aplicación en rehabilitación.

Buchanan (1992) describe el design thinking como un enfoque flexible y adaptable que permite abordar problemas complejos mediante la integración del diseño en diversas disciplinas.

3.9. EMPATIZAR

En esta etapa se recopilaban y analizaban las experiencias de los pacientes que han sufrido un accidente cerebrovascular y de los fisioterapeutas que trabajan en su rehabilitación. Para ello, se realizaron cuatro entrevistas con fisioterapeutas y se recogieron testimonios de pacientes sobre su proceso de terapia.

ENTREVISTAS CON FISIOTERAPEUTAS

Las entrevistas realizadas con especialistas en fisioterapia permiten comprender distintos enfoques de rehabilitación de la mano, destacando su importancia para la funcionalidad y la independencia del paciente. Se identifican dos abordajes principales: el traumatológico, orientado a la recuperación de estructuras óseas, musculares y articulares tras una lesión, y el neurológico, dirigido a la reeducación del movimiento en personas con secuelas de accidentes cerebrovasculares u otras alteraciones del sistema nervioso.

En todos los casos, la evaluación inicial es fundamental para establecer un plan de tratamiento adecuado a las necesidades del paciente. Se considera el estado de la movilidad, el tono muscular, la presencia de dolor y la sensibilidad, factores que pueden influir en la recuperación. En pacientes con daño neurológico, la rehabilitación debe centrarse en la estimulación de la neuroplasticidad a través de ejercicios repetitivos que favorezcan la reorganización de las conexiones neuronales.

El estudio biomecánico de la mano se presenta como un elemento esencial en la rehabilitación y en el diseño de un exoesqueleto. Se menciona la clasificación de Kapandji, que permite analizar los movimientos desde distintos niveles, incluyendo articulaciones, ligamentos, tendones, músculos y nervios.

Se resalta el papel del pulgar en la función de agarre, lo que sugiere que cualquier dispositivo de asistencia debe contemplar su movilidad de manera prioritaria.

A partir de la información recopilada, se han identificado y resaltado los puntos más relevantes, los cuales se presentan a continuación:

- Importancia de la rehabilitación de la mano; abordar movilidad, fuerza, coordinación y percepción sensorial.
- Estimulación de la neuroplasticidad; uso de ejercicios repetitivos, terapia espejo y terapia bilateral.
- Uso de tecnología en la rehabilitación.
- Adaptabilidad del exoesqueleto; considerar la espasticidad y el tono muscular del paciente.
- Motivación del paciente.
- Métodos; uso de férulas y ortesis para estabilizar la mano, y dispositivos tecnológicos como exoesqueletos.
- Duración de las sesiones de rehabilitación.
- Selección de materiales en el diseño del exoesqueleto; materiales como el velcro pueden generar molestias en pacientes con alta sensibilidad.

OPINIONES DE LOS PACIENTES

Los pacientes manifestaron que las sesiones de rehabilitación resultan agotadoras, especialmente cuando los ejercicios requieren un esfuerzo prolongado. Algunos mencionaron que la fatiga les impide completar la terapia en ciertas ocasiones, lo que retrasa su recuperación. También expresaron que el dolor es una molestia frecuente y que, en algunos casos, genera temor a continuar con los ejercicios.

En cuanto a su percepción sobre dispositivos de asistencia, varios pacientes consideraron que contar con un apoyo adicional les daría más confianza para moverse. Algunos manifestaron que, si la terapia fuera menos demandante físicamente, podrían realizar los ejercicios con mayor frecuencia.

- Progreso con la terapia: Todos han notado mejoras en la movilidad y fuerza de la mano con el tiempo, aunque a diferentes ritmos.
- Fatiga tras 15 a 30 minutos de terapia, lo que afecta su rendimiento y los obliga a hacer pausas.
- Duración de las sesiones, entre 30-40 min.
- Dificultades en actividades diarias, como abrochar botones, girar una llave o sostener el celular.
- Interés en el exoesqueleto, ven una herramienta útil para reducir la fatiga y facilitar la terapia.
- Presencia de dolor, experimentan dolor localizado (muñeca, dedos, tendones), mientras que otros solo reportan fatiga.

- Estrategias de recuperación, complementan la terapia con ejercicios en casa o aplicación de hielo, otros dependen únicamente de las sesiones de rehabilitación.
- Dificultades específicas, pacientes con fracturas o caídas presentan más restricciones en la movilidad, mientras que aquellos con lesiones por uso repetitivo tienen más problemas de inflamación y tensión en los tendones.

SÍNTESIS DE HALLAZGOS

Los testimonios analizados permiten identificar los principales problemas que enfrentan los pacientes en su rehabilitación: fatiga, dolor y dificultad para completar los ejercicios. Los fisioterapeutas coinciden en que un sistema que facilite el movimiento del paciente podría contribuir a mejorar el tratamiento. Los pacientes, en cambio, expresaron que un apoyo adicional les permitiría realizar la terapia con menos dificultad.



PARTIDAS DE DISEÑO

Las características del exoesqueleto se plantean en tres partidas: formales, funcionales y tecnológicas, cada una orientada a optimizar el diseño, la usabilidad y el desempeño del dispositivo.

PARTIDAS FORMALES

En cuanto a las partidas formales, el diseño del exoesqueleto se centra en tres aspectos clave: la ergonomía, la apariencia tecnológica y la percepción de ligereza. La forma está diseñada para adaptarse a las dimensiones naturales de la mano humana, proporcionando un confort óptimo durante su uso. Además, se ha optado por una estética amigable, alejándose del aspecto clínico y utilizando colores neutros que fomentan una mejor aceptación del usuario.



IMG#41



IMG#42

PARTIDAS FUNCIONALES

Las partidas funcionales se enfocan en facilitar la imitación y asistencia en los movimientos naturales de la mano durante el proceso de rehabilitación. El exoesqueleto permite movimientos de flexión y extensión de los dedos, respetando los rangos de movilidad de una mano sana. Su colocación es intuitiva, permitiendo al usuario mayor autonomía y comodidad durante su uso.

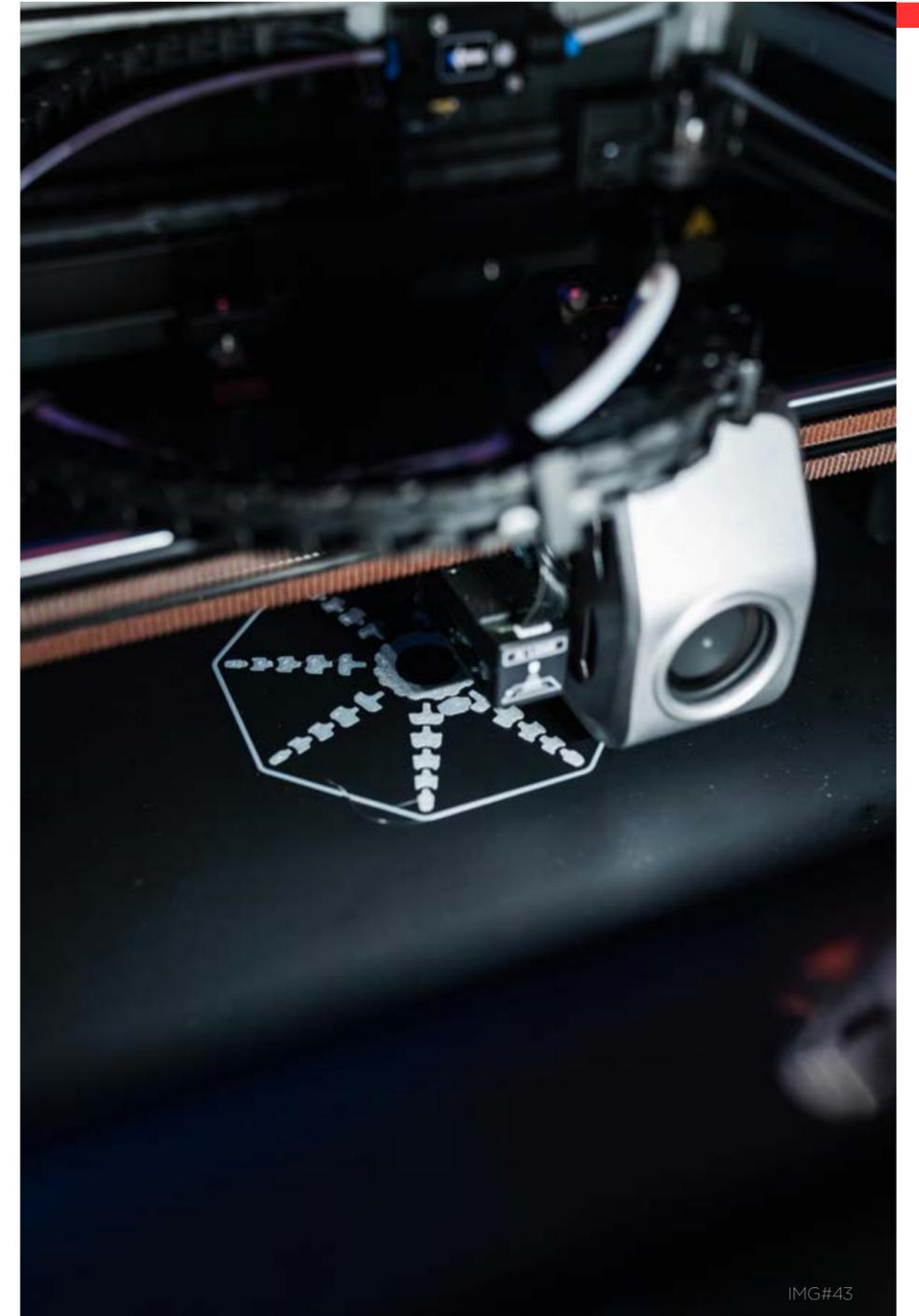


PARTIDAS TECNOLÓGICAS

Las partidas tecnológicas integran materiales livianos y resistentes, como polímeros impresos en 3D, que optimizan su estructura, peso y facilitan el proceso de construcción. El mecanismo de transmisión se basa en sistemas de hilos de pescar, los cuales replican el movimiento natural de los dedos. Para una mayor efectividad en la terapia, se incorporan sensores de movimiento Leap Motion y microcontroladores Arduino, que mejoran la interacción y el control del dispositivo. El sistema de sujeción está diseñado para un montaje y desmontaje sencillo, utilizando elementos similares a bandas elásticas que facilitan su uso.

3.10. DEFINIR

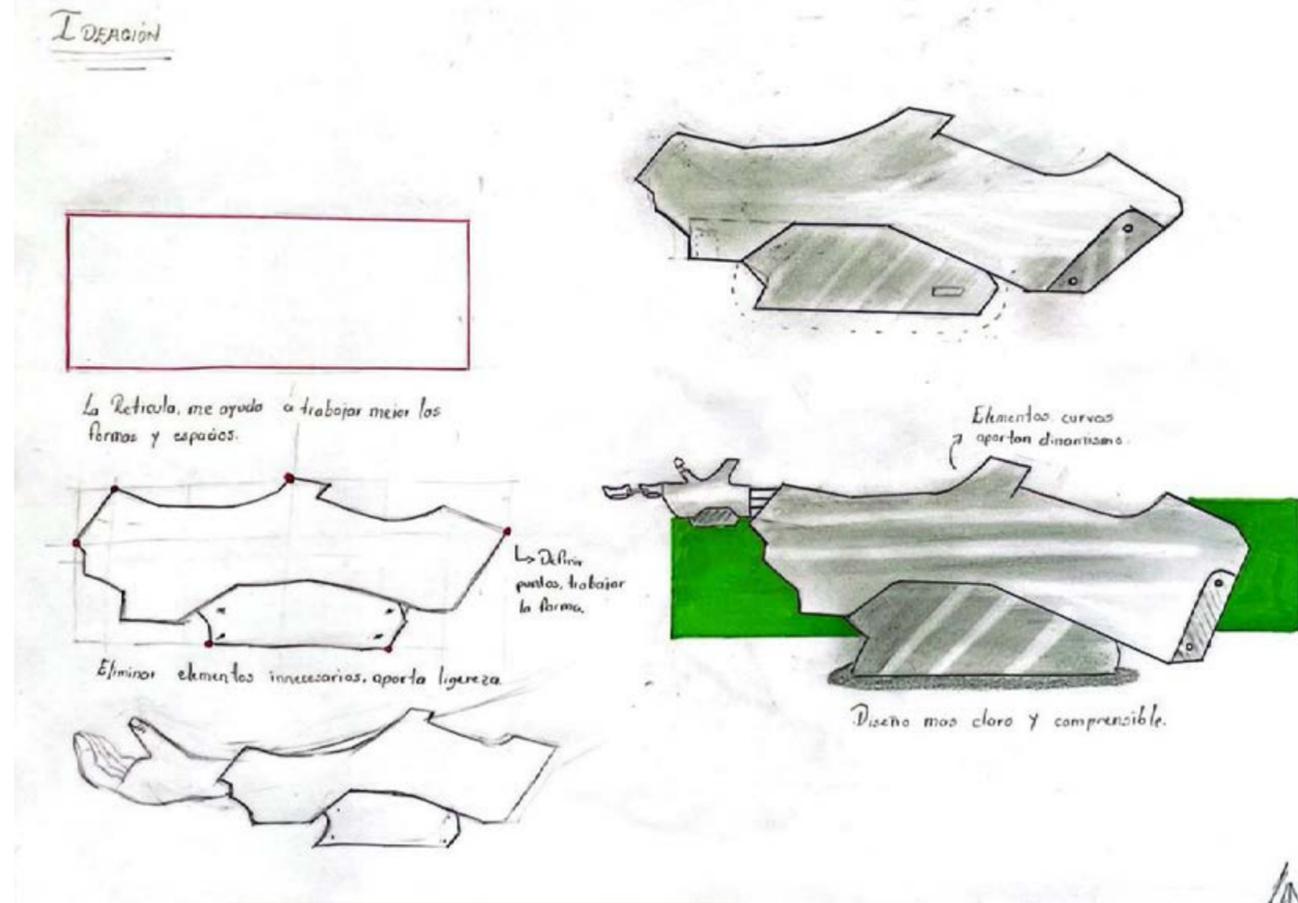
Los pacientes en rehabilitación enfrentan dificultades como fatiga, dolor y problemas para completar los ejercicios, lo que afecta su progreso terapéutico. Los fisioterapeutas destacan la necesidad de un sistema que facilite el movimiento del paciente para optimizar el tratamiento, mientras que los pacientes consideran que un apoyo adicional les permitiría realizar la terapia con menor dificultad. A partir de estos hallazgos, es necesario diseñar una solución que integre funcionalidad y estética para mejorar la experiencia de rehabilitación y la continuidad del tratamiento.



IMG#43

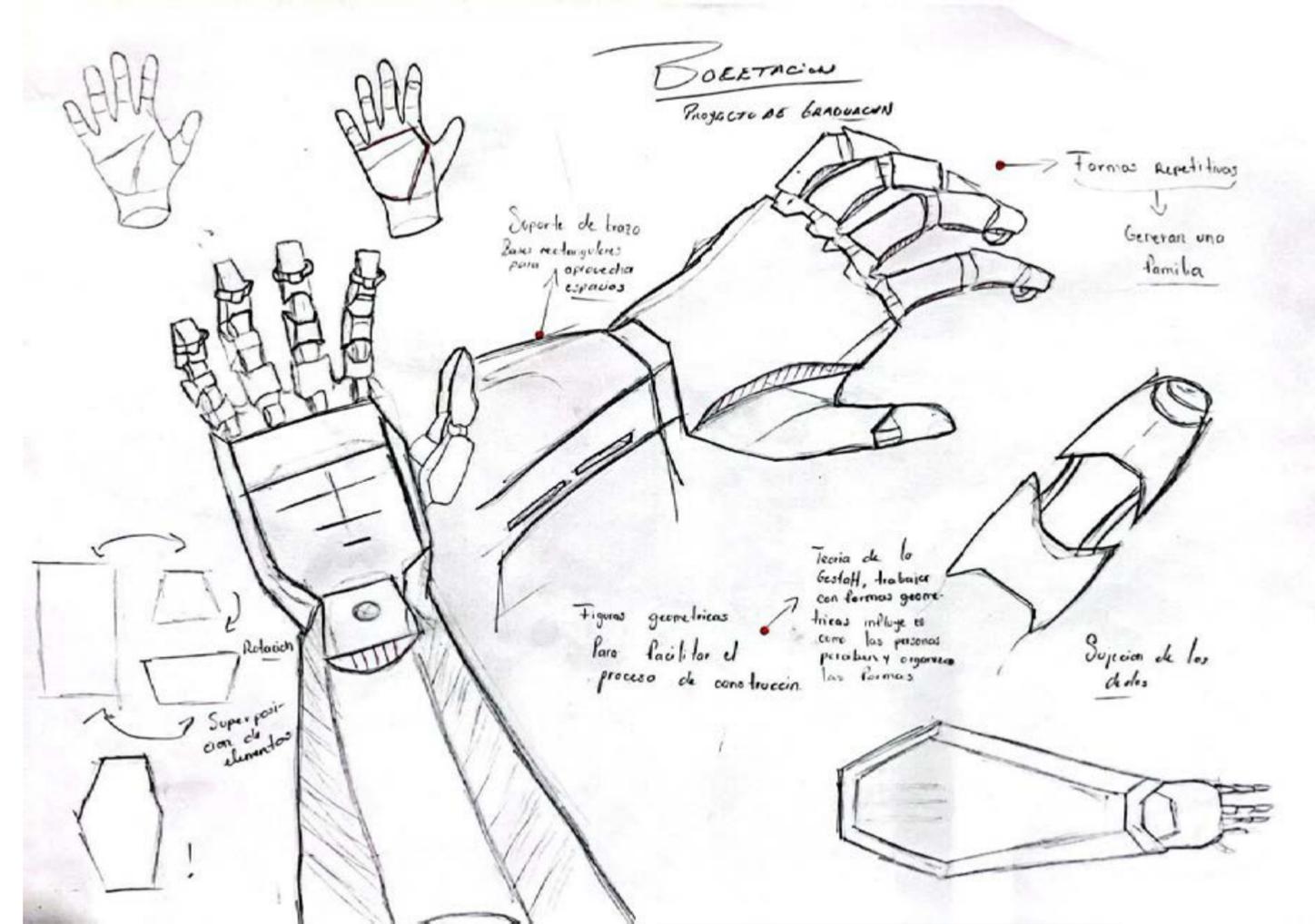


3.11 IDEAR



Boceto 1

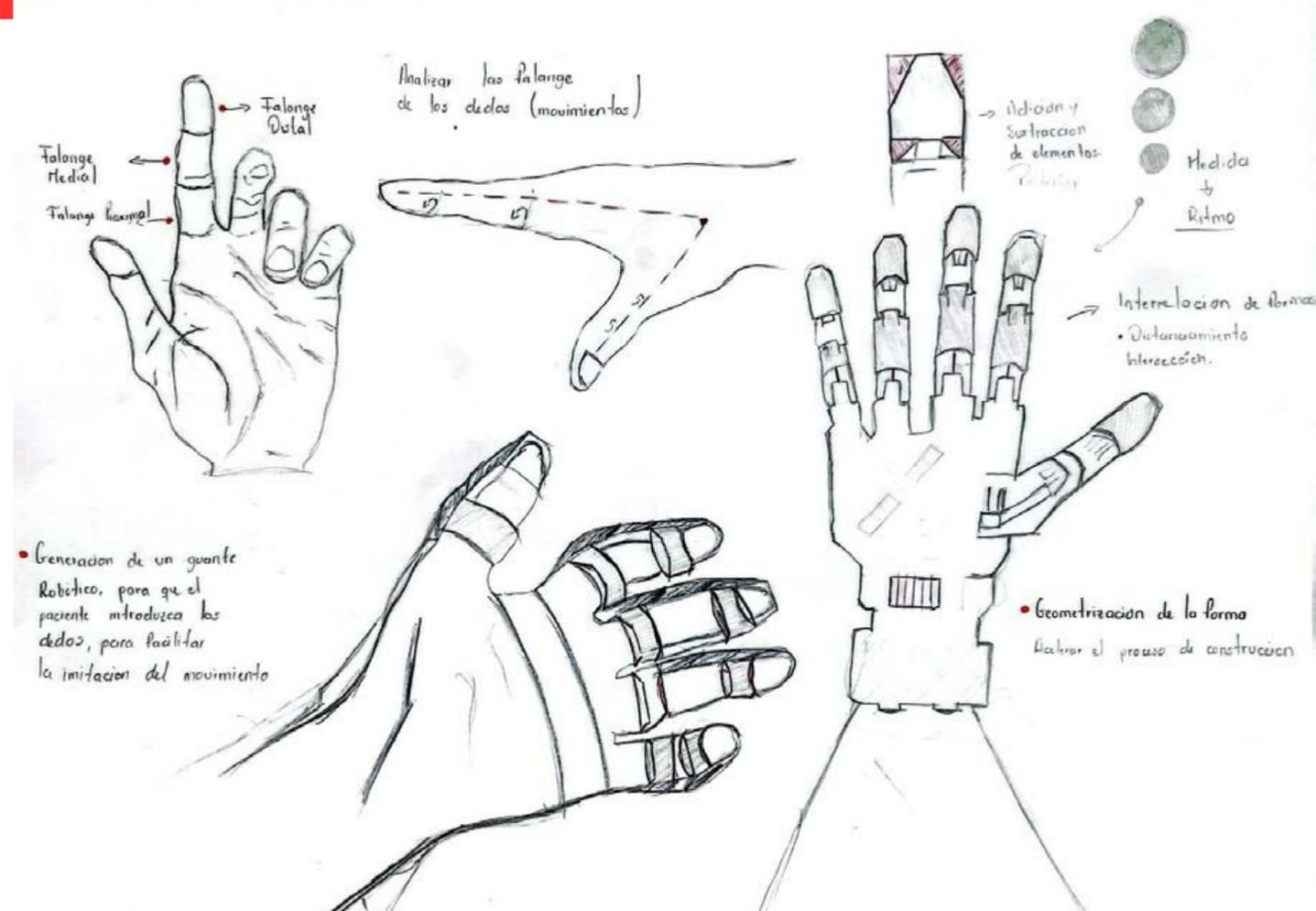
Boceto que propone la reticulación de un rectángulo, donde se ubicaron puntos, para conectar líneas y construir la forma desde una lectura más sutil. Esta manera de estructurar permite generar equilibrio sin perder limpieza visual. La geometría se mantiene como hilo conductor en todo el proceso, funcionando no solo como guía formal, sino también como parte del lenguaje con el que se comunica el objeto.



Boceto 2

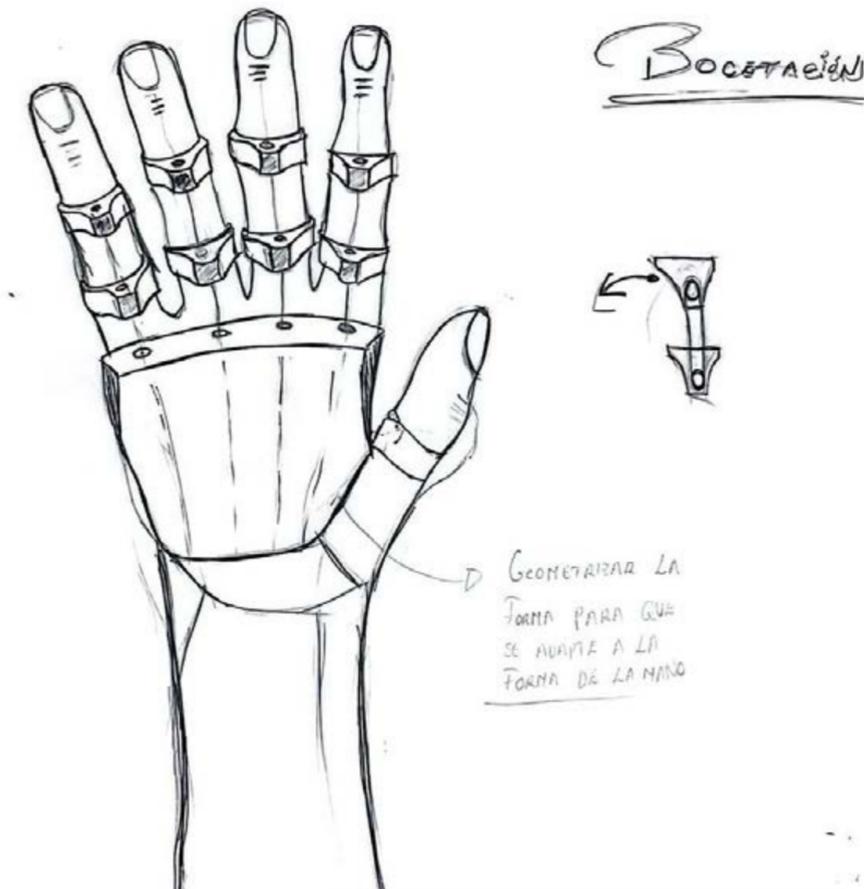
Boceto que parte desde la morfología del brazo y la mano. Se buscó comprender el funcionamiento de sus partes, especialmente el movimiento de los dedos y la articulación del brazo. A partir de ello, el boceto plantea la necesidad de generar un exoesqueleto que permita al usuario colocar su brazo con facilidad, priorizando la comodidad y el ajuste natural a su anatomía.





Boceto 3

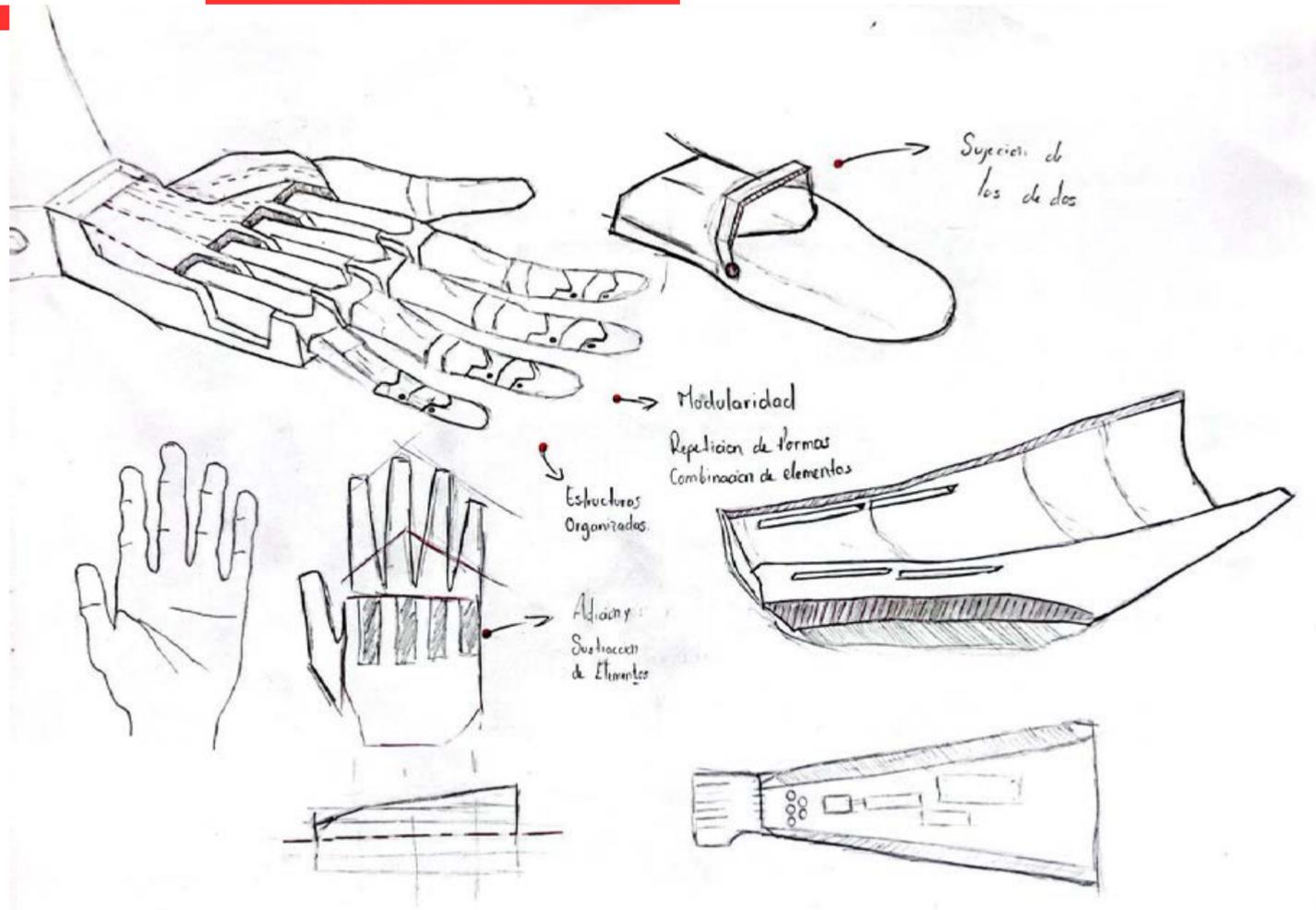
Este boceto se pensó a partir de la forma que pueden tener los soportes de los dedos. Como ya se mencionó, cada uno mantiene una base geométrica. Desde la vista superior parece un cuadrado común, pero mediante cortes y sustracciones se llega a una forma más estructurada, que se ajusta mejor a la línea de propuestas que venimos trabajando.



Boceto 4

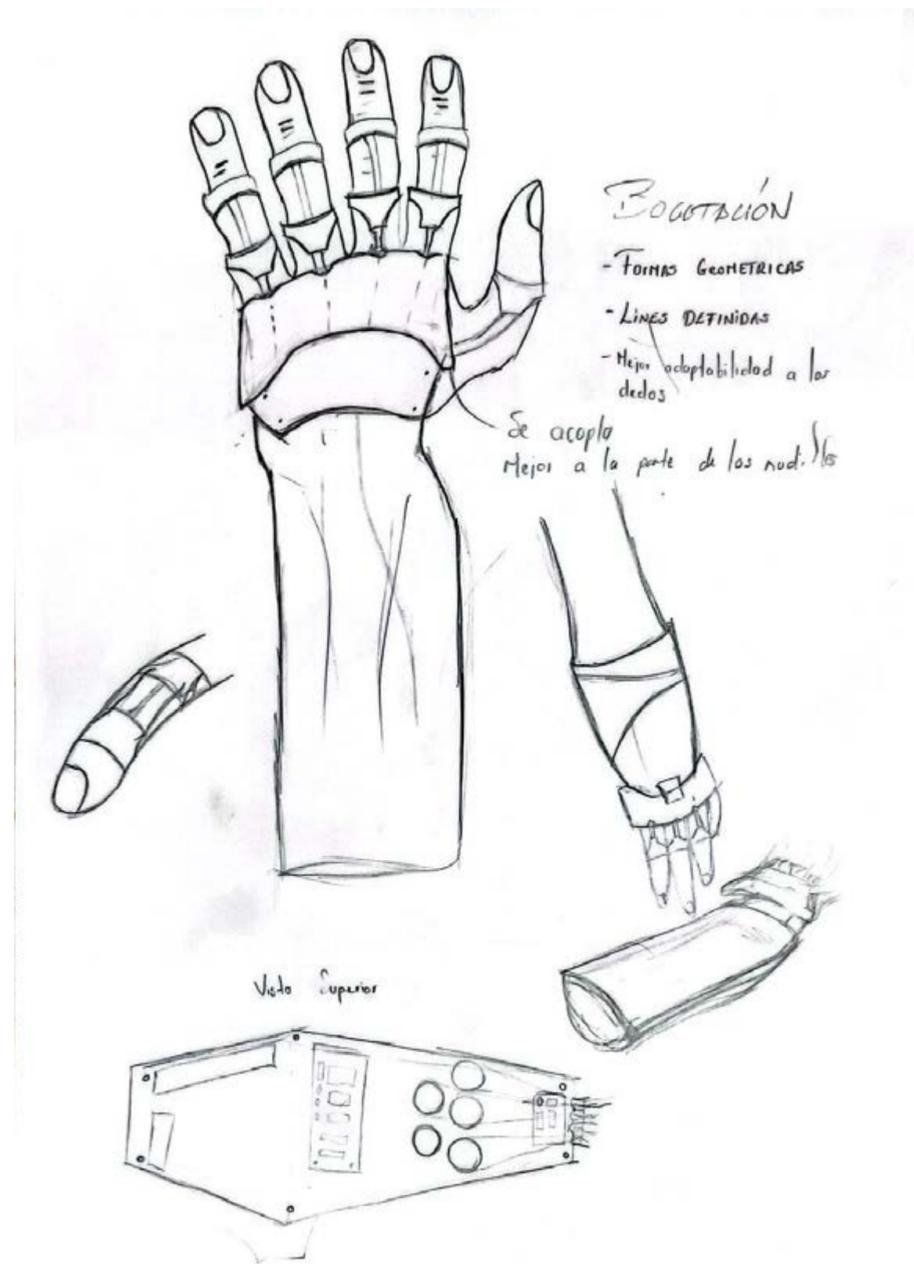
Mediante este boceto se busca comprender el funcionamiento o la posición que pueden llegar a tener los hilos para que permita la flexión y extensión de los dedos.





Boceto 5

Inspirado en la forma general del brazo, esta propuesta permite entender cómo se puede colocar el brazo de manera cómoda, considerando su anatomía. A partir de esto, se diseñaron piezas que sostienen cada dedo, buscando un ajuste natural que respete la movilidad y mantenga la coherencia con el lenguaje formal del proyecto.



Boceto 6

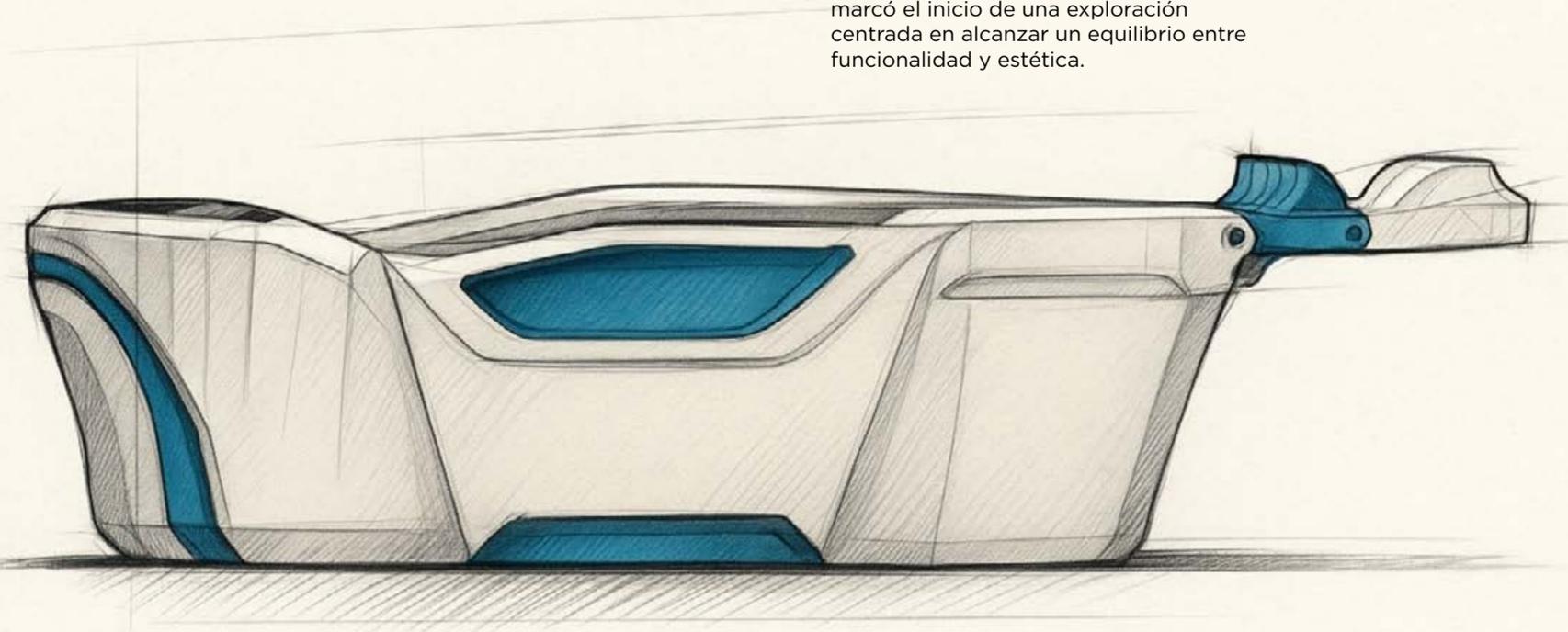
Durante esta fase de ideación, se comprendió que limitarse a un soporte solo para la mano seguía generando incomodidad. Por ello, al extender la forma hasta que funcionara como un soporte para el brazo, se logró abrir una nueva perspectiva del proyecto, permitiendo repensar su funcionalidad y adaptabilidad desde un enfoque más integral.



BOCETO FINAL

3.12. CONCLUSIÓN

En este capítulo se profundizó en la realidad del usuario mediante entrevistas, lo que permitió identificar sus necesidades y expectativas. A partir de esta información se construyó su perfil y se analizaron referentes que aportaron perspectivas clave para el desarrollo del prototipo. El proceso de design thinking continuó con la etapa de ideación, donde los primeros bocetos comenzaron a dar forma a las propuestas iniciales. Este momento marcó el inicio de una exploración centrada en alcanzar un equilibrio entre funcionalidad y estética.



4.1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo del producto fue un proceso estructurado en distintas etapas. Una vez definidas las características formales, funcionales y tecnológicas, se dio inicio a la fase de prototipado rápido.

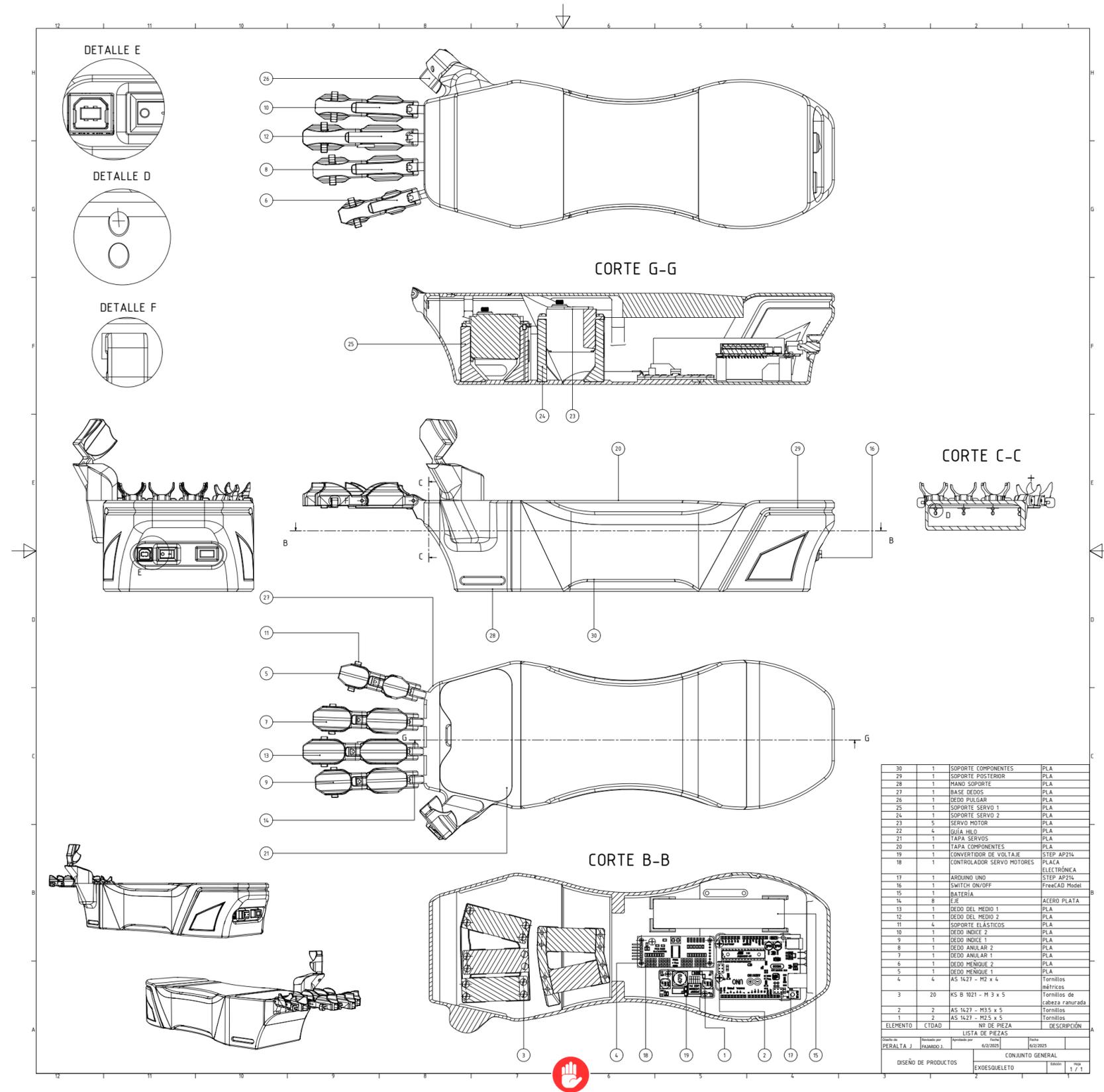
Esta etapa resultó fundamental, ya que permitió identificar errores y ajustar las ideas planteadas previamente. Al finalizar esta fase, se establecieron las medidas necesarias para garantizar que el producto fuese proporcional, logrando que cada componente se integrara de forma coherente dentro del conjunto definido.

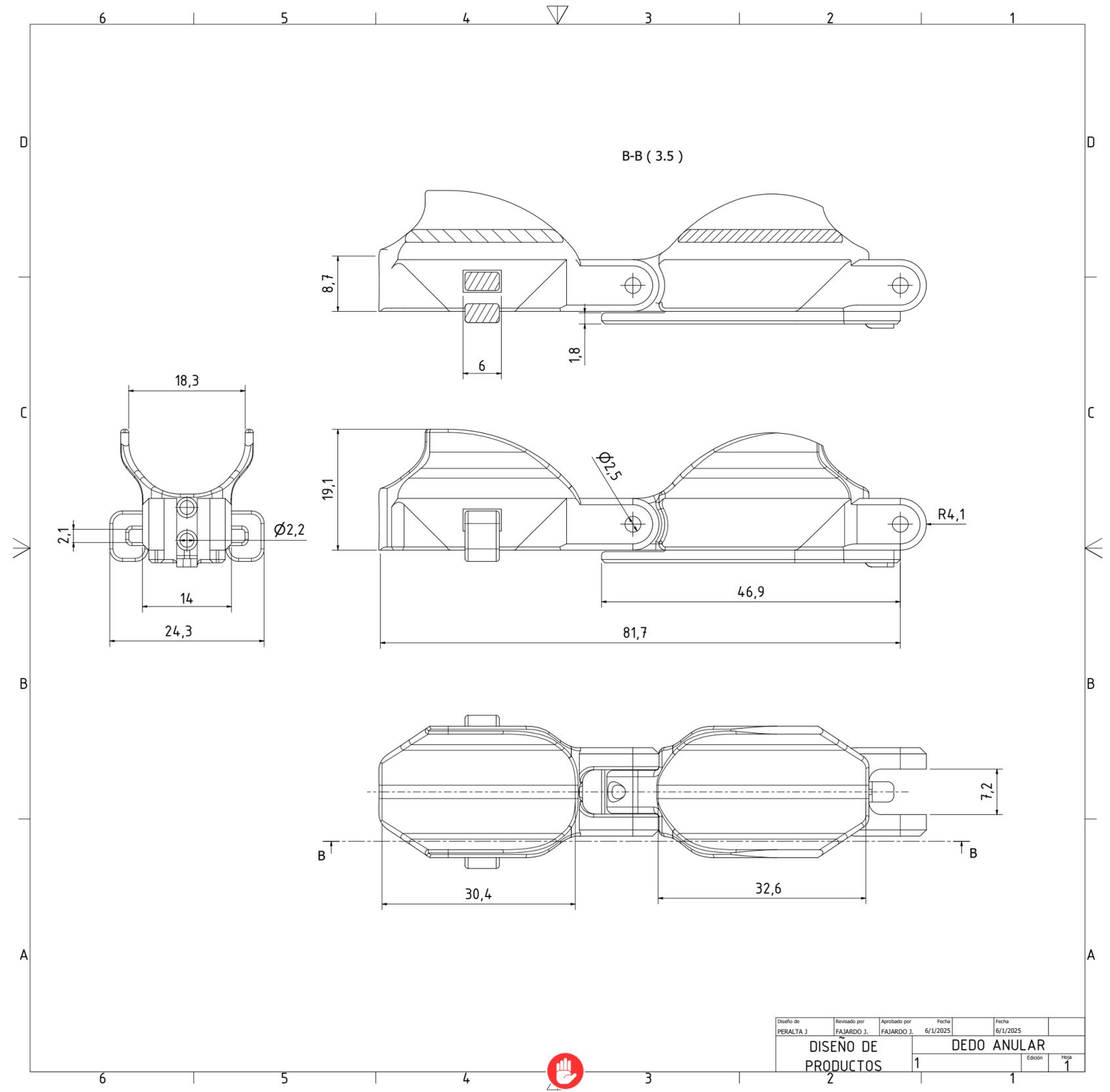
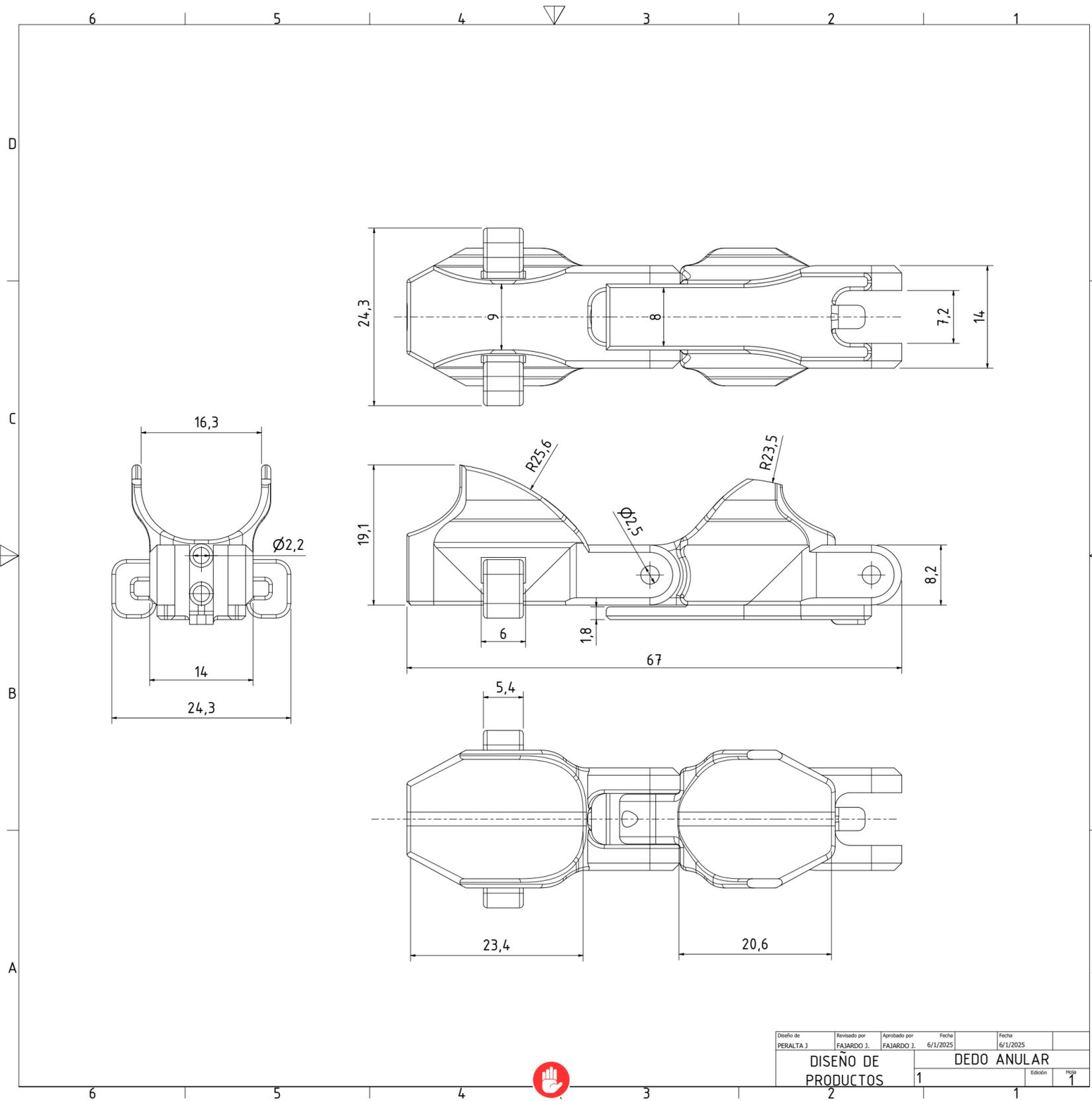
Además, se consideraron cuidadosamente las dimensiones y la ubicación de elementos como servomotores y baterías, ya que estos componentes determinaron y orientaron el desarrollo de la forma debido a sus especificaciones.

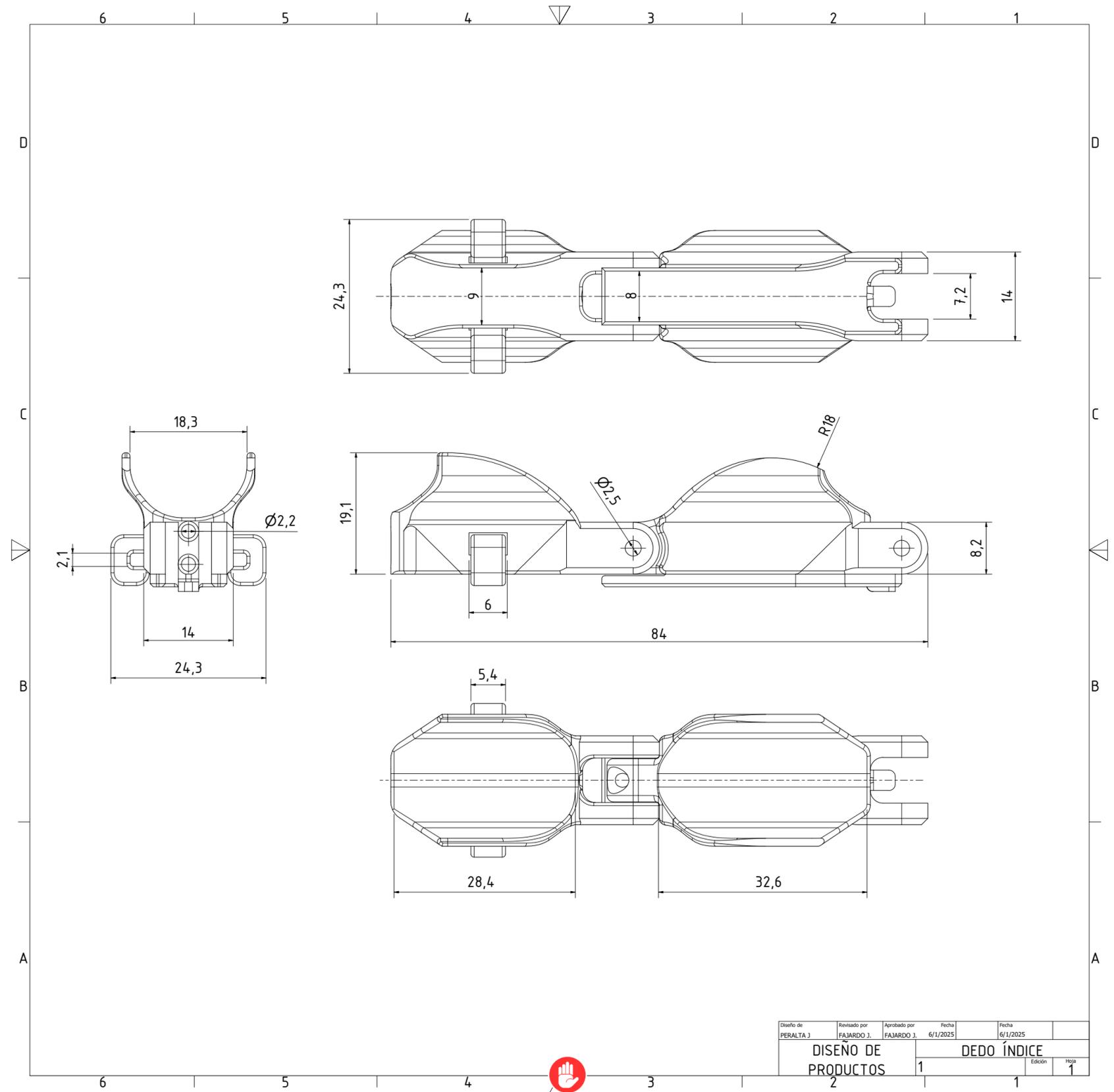
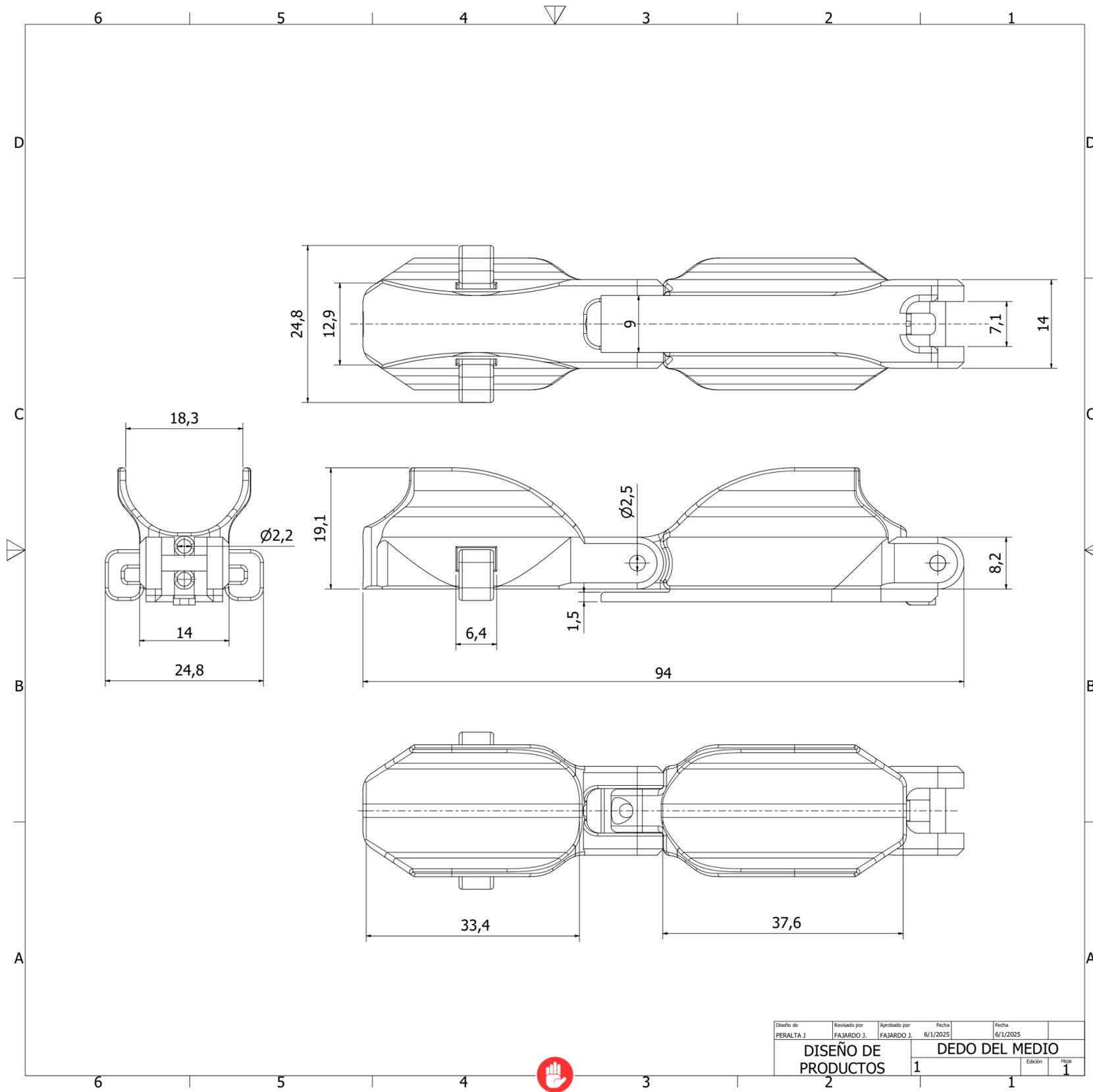


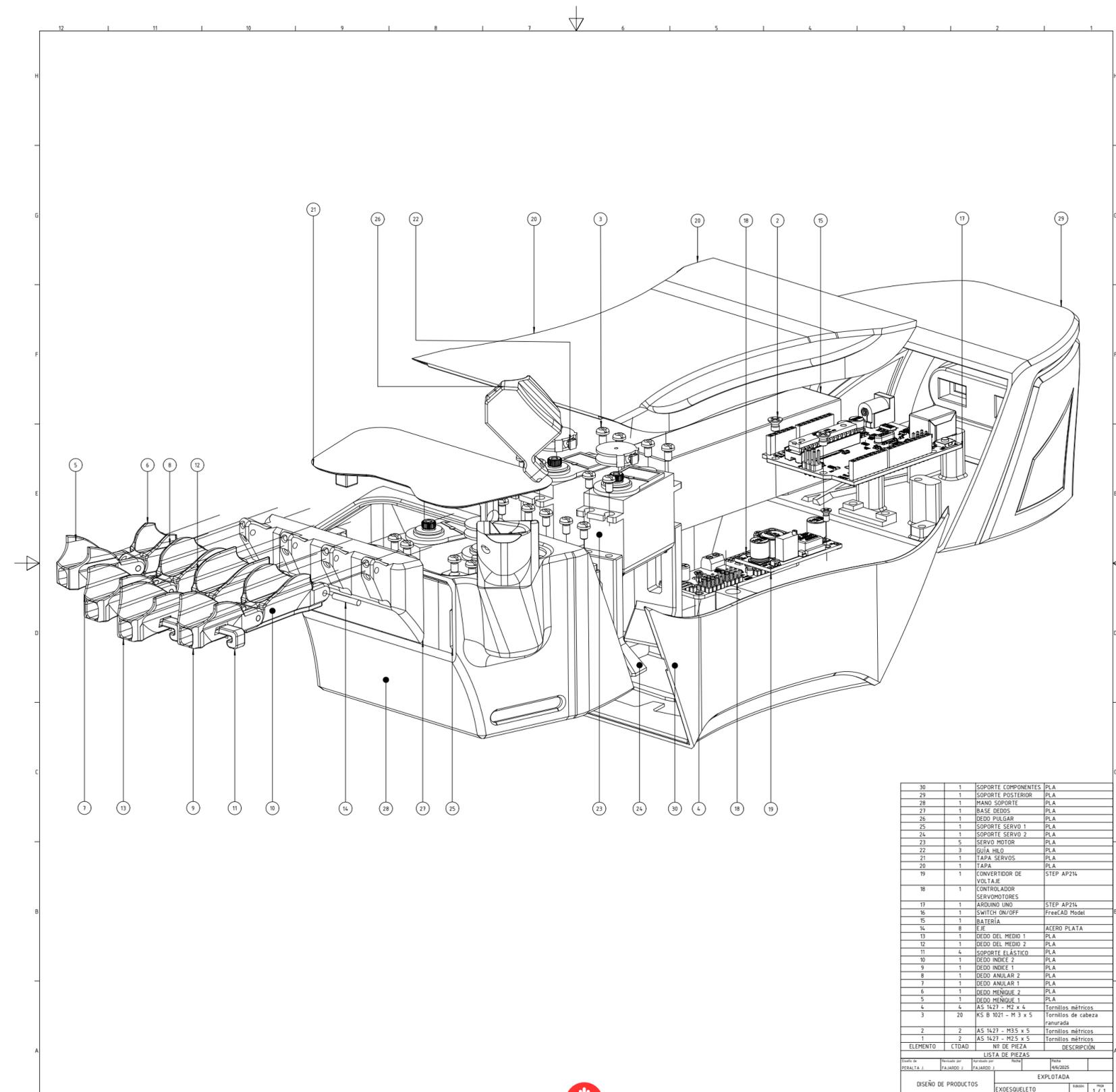
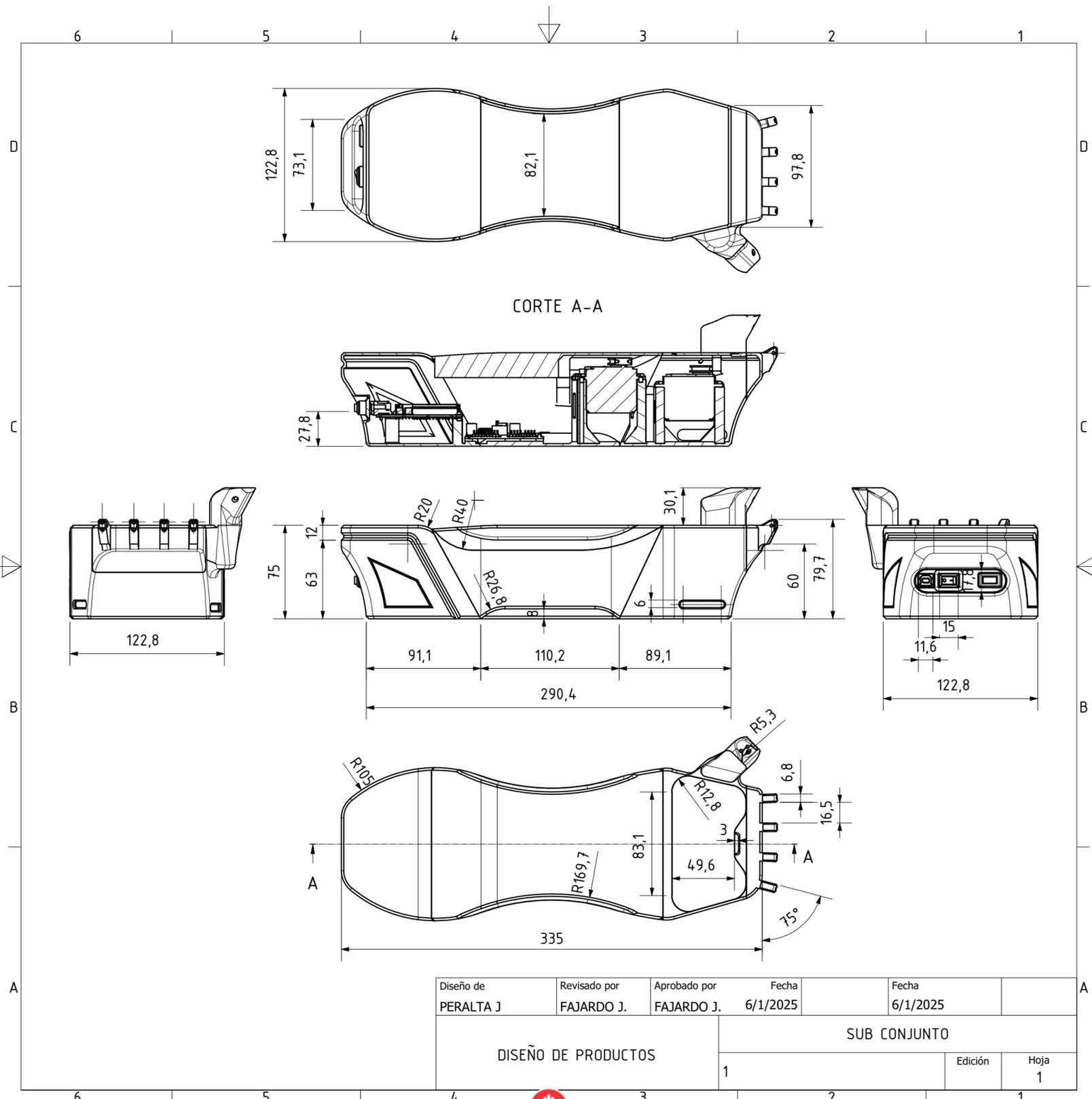
4TO CAPÍTULO

4.2. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA



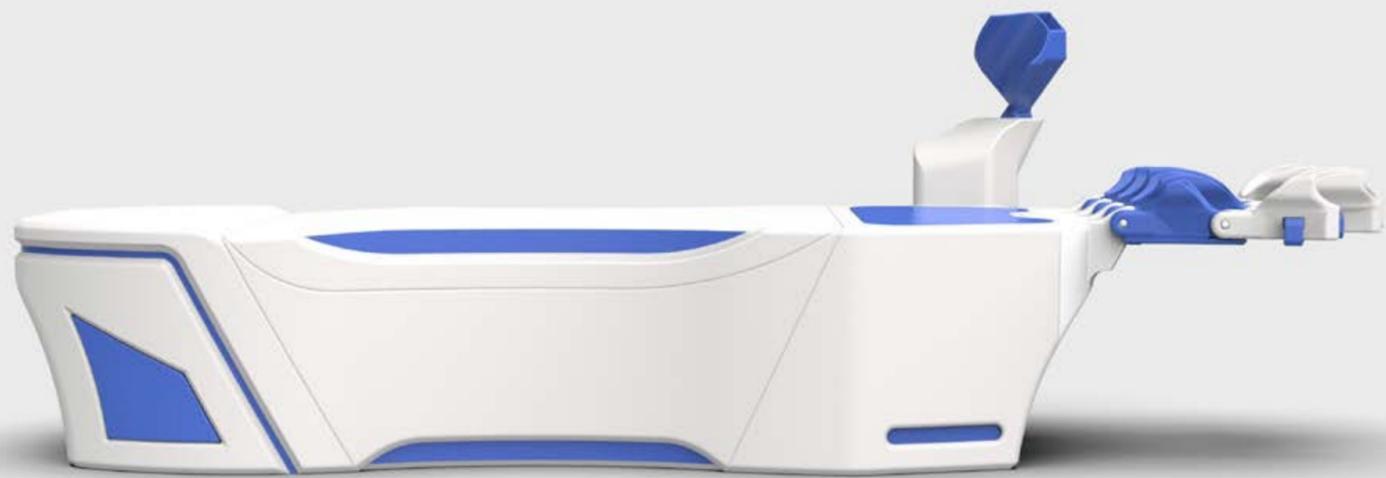
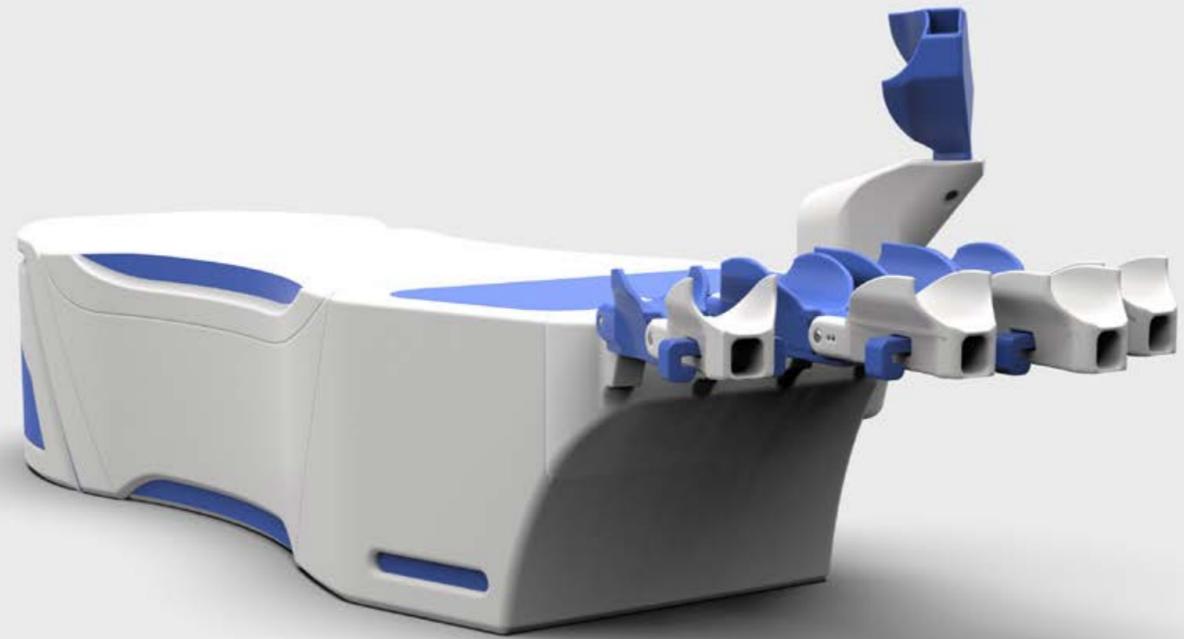


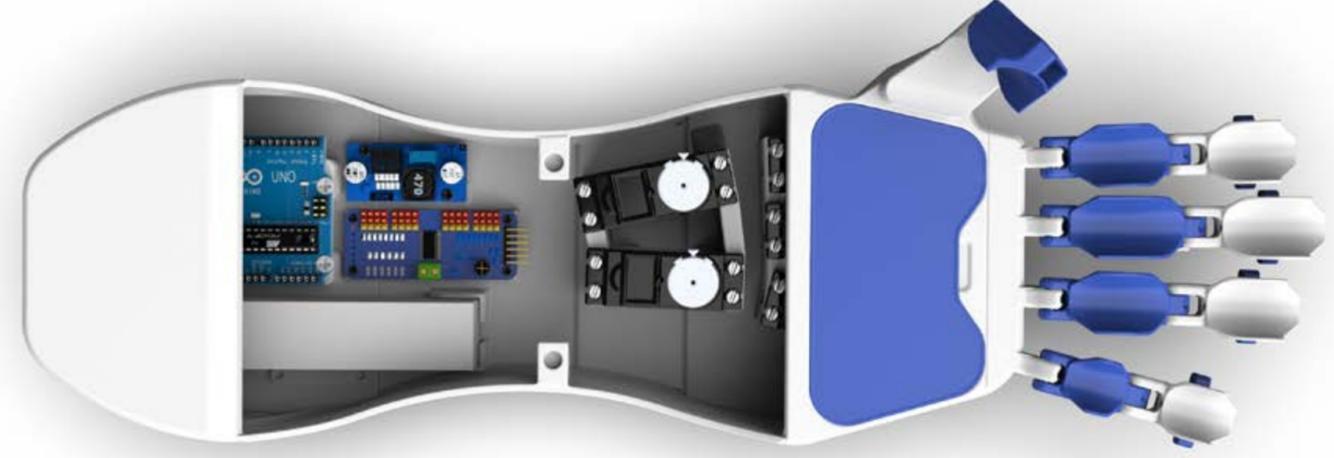
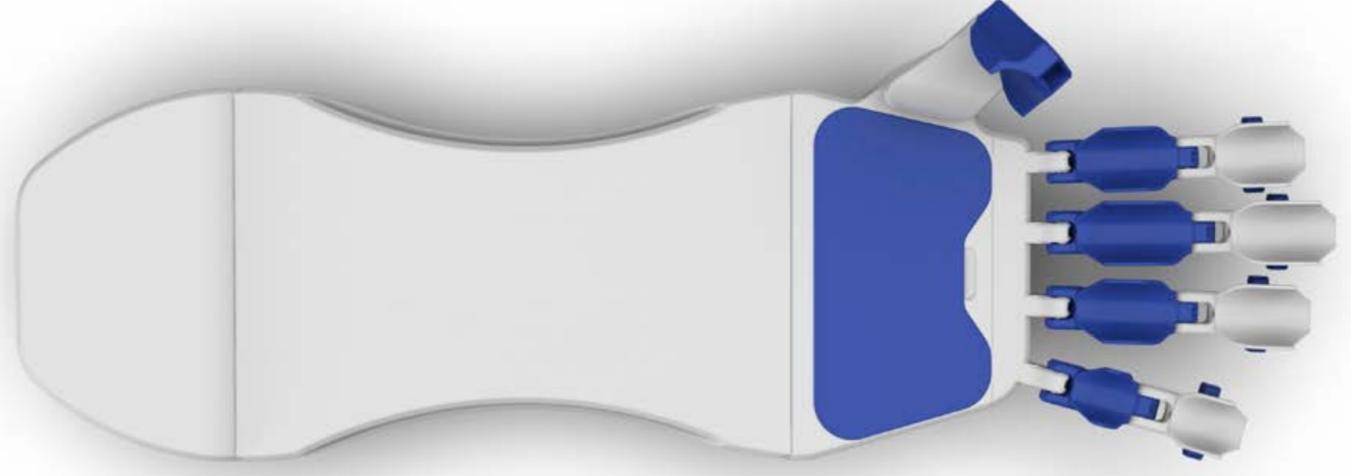




4.3. RENDERERS







4.4. CONCLUSIÓN

El desarrollo de este proyecto evidenció que el diseño de un exoesqueleto para la rehabilitación de la mano no se limita únicamente a resolver una necesidad técnica. A medida que avanzaron las etapas, se volvió cada vez más evidente que el valor del diseño estaba en su capacidad de conectar con las personas, no solo a través de la funcionalidad, sino también desde lo emocional. Se trabajó constantemente en ajustar la forma, mejorar la distribución de componentes y cuidar los detalles que muchas veces se pasan por alto, pero que terminan marcando la diferencia en el uso diario.

La selección de una paleta de colores adecuada, por ejemplo, no solo aportó visualmente, sino que ayudó a construir un lenguaje más cercano y humano. Los comentarios espontáneos de quienes observaron el proyecto reflejaron un cambio importante en la percepción del diseño, mostrando que era posible generar interés, empatía y curiosidad a partir de un objeto pensado desde el usuario.

A lo largo del trabajo, se reafirmó la idea de que un diseño bien logrado no es aquel que simplemente funciona, sino el que también acompaña, el que tiene sentido para quien lo usa. El exoesqueleto desarrollado busca precisamente eso: ser útil, sí, pero también ser digno, comprensible y cercano. Este proyecto demuestra que pensar en la estética, en la forma de comunicarse visualmente y en los gestos más simples del objeto, también es parte de construir soluciones más completas.

La propuesta no pretende ser una respuesta definitiva, pero sí un paso firme hacia una manera distinta de entender el diseño en contextos de rehabilitación. En lugar de centrarse únicamente en la tecnología, se priorizó la experiencia del usuario, sus emociones y su entorno, entendiendo que todo eso también forma parte del problema y, por tanto, debe formar parte de la solución. En definitiva, este trabajo plantea una mirada más humana del diseño, una que no pierde de vista lo esencial: hacer del objeto un aliado real en la vida de las personas.

CONCLUSIONES DEL PROYECTO

A lo largo de este trabajo se comprendió que el diseño de un exoesqueleto no puede limitarse solo a lo funcional. Desde el inicio, en el capítulo uno, se identificó que muchos dispositivos existentes cumplen con su objetivo técnico, pero descuidan aspectos estéticos y emocionales. Esta falta de conexión con el usuario motivó el enfoque de este proyecto. El marco teórico del capítulo dos permitió sustentar decisiones en torno a mecanismos, biomecánica, arquitectura del producto y experiencia del usuario. Todos estos elementos se vincularon para construir una base que permitiera un diseño equilibrado.

En el capítulo tres se definieron los criterios del proyecto a partir de entrevistas a fisioterapeutas y pacientes. Las cuales fueron importantes para reconocer limitaciones frecuentes en procesos de rehabilitación, además de mostrar que, aunque se acepta el uso del exoesqueleto, aún hay incomodidad visual o dificultades en el uso diario. Esa información fue la guía para la ideación.

Finalmente, en el capítulo cuatro se desarrolló el producto. El diseño fue bien recibido por su apariencia, se entendió con facilidad cómo colocar el dispositivo y se notó una mejora en la disposición de las personas al utilizarlo. La forma, el color y la estructura ayudaron a generar aceptación. Sin embargo, también se encontraron contras: los hilos que transmiten el movimiento podrían tensarse más, los servos podrían tener mejor respuesta y la colocación aún puede ajustarse para ganar tiempo y comodidad.

De ese modo, este proyecto demuestra que unir funcionalidad con estética no solo mejora la experiencia del usuario, sino también su compromiso con el tratamiento.



REFERENCIAS

- Atemoztli de la Cruz Sánchez, B. (2020). Instrumentación y control de un prototipo de exoesqueleto para mano en rehabilitación asistida [Tesis de licenciatura, Universidad Tecnológica de la Mixteca].
- Arroyo, F., & Bravo, D. (2020). El proceso del diseño industrial como herramienta de la gestión de la empresa. *Revista INGENIO*, 1(3), 71-84. Universidad de Valladolid.
- Baquero Torres, M. I. (2015). Discapacidad: una construcción narrativa excluyente. Universidad de la Salle.
- Banco Mundial. (2023). Discapacidad. <https://www.bancomundial.org/es/topic/disability>
- Belén Luna, J. C., Orozco Aguirre, H. R., Flores Albino, J. M., Gaviño Ortiz, G., & González Morán, C. O. (2022). Sistema para el análisis de la movilidad del miembro superior muñeca-mano con retroalimentación visual-virtual. *Revista Investigación Operacional*, 43(1), 79-89.
- Brito Guaricela, J. L., Quinde Abril, M. X., & Cuzco Patiño, J. D. (2013). Diseño, construcción e implementación de una prótesis biomecánica de mano derecha [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana].
- Bützer, T., Lamercy, O., Arata, J., & Gassert, R. (2020). Fully wearable actuated soft exoskeleton for grasping assistance in everyday activities. *Wearable Robotics: Challenges and Trends*, Springer.
- Cardona i Foix, S. (2000). Teoría de máquinas. Edicions UPC.
- Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades. (s. f.). Se amplía la extensión de la vigencia del carné de discapacidad hasta diciembre de 2024. <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec>
- Cruz-Martínez, G. M., Vilchis-González, A. H., Zúñiga-Avilés, L. A., Ávila-Vilchis, J. C., & Hernández-Sánchez, A. I. (2018). Diseño de exoesqueleto basado en cuatro casos de estudio de rehabilitación de miembro superior. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*, 39(2), 175-189.
- Díaz, V., Oneto, F., Ayoroa, N., Oms, E., Torregiani, L., & Ramírez, R. (2019). El desarrollo de productos en la empresa: Los usuarios en primer plano. Instituto Nacional de Tecnología Industrial - INTI.
- Díez Pomares, J. A. (2021). Diseño y control de exoesqueleto robótico para la rehabilitación y asistencia de los movimientos de la mano [Tesis de máster, Universidad Miguel Hernández de Elche].
- Fernández Rabadán, M. M. (2022). Diseño emocional y diseño de experiencias. *Cuaderno 167 | Centro de Estudios en Diseño y Comunicación*, 155-164.
- Freivalds, A. (2004). *Biomechanics of the upper limbs: Mechanics, modeling, and musculoskeletal injuries* (2nd ed.). CRC Press.
- Hassenzahl, M., & Tractinsky, N. (2006). User experience - A research agenda. *Behaviour & Information Technology*, 25(2), 91-97. <https://doi.org/10.1080/01449290500330331>
- International Organization for Standardization. (2010). ISO 9241-210:2010 Ergonomics of human-system interaction - Part 210: Human-centred design for interactive systems. <https://www.iso.org/standard/52075.html>
- Knapp Bjerén, A. (2003). La experiencia del usuario. Anaya Multimedia.
- Langhorne, P., Coupar, F., & Pollock, A. (2013). Motor recovery after stroke: A systematic review. *The Lancet Neurology*, 12(8), 826-839. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(13\)70150-4](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(13)70150-4)
- Levy Doughtie, V., & James, W. H. (1969). Elementos de mecanismos. Compañía Editorial Continental.
- Lu, T.-W., & Chang, C.-F. (2012). Biomechanics of human movement and its clinical applications. *Kaohsiung Journal of Medical Sciences*, 28(2 Suppl), S13-S25. <https://doi.org/10.1016/j.kjms.2011.08.004>
- Macías Martín, L. E., Reyes Sánchez, A., Lom Monarrez, F., & Fornelli Martín del Campo, F. (2016). Importancia del diseño industrial enfocado a dispositivos médicos. *CULCyT*, 13(59), 107-114.
- Mancheno Saavedra, H. R. (2023). Construcción de un prototipo de exoesqueleto para la rehabilitación de la mano: Manufactura aditiva del exoesqueleto de la mano y valoración funcional del movimiento [Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional].
- Medina Quintero, E. H., Aquino Arroba, S. M., Novillo Andrade, G. G., Pozo Safla, E. R., & Choto Chariguaman, L. S. (2022). Exoesqueleto rehabilitador del dedo índice. *Pol. Con.*, 7(3), 1676-1691. <http://doi.org/10.23857/pc.v7i3.3885>
- Mendoza Novillo, D. P. (2023). Desarrollo de un prototipo de exoesqueleto para imitación del movimiento de la mano basado en una interfaz Leap Motion [Tesis de licenciatura, Universidad del Azuay].
- Moyano, Á. (2010). El accidente cerebrovascular desde la mirada del rehabilitador. *Revista del Hospital Clínico de la Universidad de Chile*, 21(4), 348-355.
- Noa Pelier, B. Y., Torres Aguilar, M., & Nodarse Rabelo, J. (2021). Terapia robótica en la rehabilitación del miembro superior hemipléjico en pacientes con enfermedad cerebrovascular. *Revista Electrónica Medimay*, 28(1), 1-10.
- Norman, D. A. (2005). El diseño emocional: Por qué nos gustan (o no) los objetos cotidianos. Paidós.
- Norman, D., & Nielsen, J. (2015). The definition of user experience. Nielsen Norman Group. <https://www.nngroup.com/articles/definition-user-experience/>
- Nordin, M., & Frankel, V. H. (2012). *Basic biomechanics of the musculoskeletal system* (4th ed.). Lippincott Williams & Wilkins.
- Norton, R. L. (2009). *Diseño de maquinaria*. McGraw-Hill Interamericana.
- Organización Mundial de la Salud. (2022). Informe mundial sobre la equidad sanitaria para las personas con discapacidad. <https://www.who.int/es/publications/i/item/9789240063457>
- Quillupangui Collaguazo, J. E. (2023). Construcción de un prototipo exoesqueleto para rehabilitación de la mano [Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional].
- Renard, P., et al. (2013). La rehabilitación física y funcional. Handicap International.
- Reyes Tejedor, P. (2024). Rediseño y parametrización de un exoesqueleto para rehabilitación de los dedos de la mano [Tesis de grado].
- Santoja Guerrero, I. (2012). Diseño e implementación de sistemas de control aplicados a un exoesqueleto para rehabilitación de la mano [Proyecto de fin de carrera, Universidad Carlos III de Madrid].
- UNFPA & FLACSO. (2023). Análisis de la situación de los derechos de las personas con discapacidad en Ecuador. https://ecuador.unfpa.org/sites/default/files/pub-pdf/analisis_personas_con_discapacidad_espanol_1.pdf
- Ulrich, K. T. (1995). The role of product architecture in the manufacturing firm. *Research Policy*, 24(3), 419-440. [https://doi.org/10.1016/0048-7333\(94\)00775-3](https://doi.org/10.1016/0048-7333(94)00775-3)
- Van Wie, M. J., Greer, J. L., Campbell, M. I., Stone, R. B., & Wood, K. L. (2001). Interfaces and product architecture. ASME Design Engineering Technical Conferences.
- Xia, K., Chen, X., Chang, X., Liu, C., Guo, L., Xu, X., & Zhou, J. (2022). Hand exoskeleton design and human-machine interaction strategies for rehabilitation. *Bioengineering*, 9(11), 682. <https://doi.org/10.3390/bioengineering9110682>

