



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Rediseño de un dispositivo
para la mejora de la
motricidad fina en
estudiantes de medicina de
la UNAM**

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniera Mecatrónica

P R E S E N T A

Arlet Andrea Delgadillo Vera

DIRECTORA DE TESIS

M.I. Carolina Castro Alarcón



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2024

‘La mente que se abre a una nueva idea, jamás regresa a su tamaño original’.

Albert Einstein

DEDICATORIAS

A mis padres por su amor y apoyo en cada etapa de mi vida, me ayudaron a crecer profesional y personalmente, me extendieron la mano para dar mis primeros pasos y ahora gracias a ustedes he culminado este ciclo.

A mi hermano por estar conmigo en momentos decisivos, me recordaste lo fácil que caminar en la vida con apoyo y amor incondicional.

RECONOCIMIENTOS

Agradezco:

Al CDMIT (Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica) por permitirme ingresar al proyecto.

A la DGOAE (Dirección General de Orientación y Atención Educativa) por la beca que me brindó para concluir mi titulación.

A la DGAPA (Dirección General de Asuntos del Personal Académico) por el PAPIME-PE202121 por los fondos para financiar esta investigación.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente:

A la Universidad por cada una de las oportunidades que me dio desde que ingresé al bachillerato hasta concluir mi licenciatura.

A mis padres, Ángeles y Martín, por brindarme su cariño, apoyo y comprensión, por acompañarme en cada logro y ayudarme a ponerme de pie siempre que lo necesité, ellos saben con cuanta dedicación y esfuerzo me educaron para ser quien soy hoy.

A mi hermano Martín por estar conmigo y apoyarme cuando más lo necesité.

A mi asesora, la MI. Carolina Castro Alarcón por su paciencia, consejos, su conocimiento de la investigación y por todo su apoyo a través de mis últimos años en la Facultad.

Al Dr. Vicente Borja Ramírez por sus consejos de diseño y su asesoramiento en esta investigación.

Al Dr. José Luis Jiménez por su asesoramiento de medicina en esta investigación.

Al Dr. Alejandro C. Ramírez Reivich por abrirme las puertas del CDMIT para iniciar mi servicio social y posteriormente, mi tesis.

A todos los profesores que me han apoyado a lo largo de mi trayectoria escolar, desde el kínder hasta la Universidad.

A todos los que me brindaron su apoyo y consejos en momentos difíciles de la licenciatura, aprendí algo de cada uno.

A todos mis compañeros que forman y formaron parte del equipo MedingToy.

A Daniel por dame su amor, comprensión, compañía y apoyo en cada meta y paso que di en mis últimos años de la Facultad.

A mi tía Sonia por darme su tiempo y apoyo cuando más lo necesité en la licenciatura.

A mi tío Antonio por enseñarme lo divertido que es llevar a la práctica toda la teoría que vi en la licenciatura.

A mi amiga Cynthia por enseñarme lo interesante que puede ser la medicina y explicarme algunos temas de mi tesis.

A mi amigo Gerardo por enseñarme el equilibrio entre la Universidad y los pasatiempos, y que siempre debo de seguir superándome.

Algunas imágenes han sido removidas, ya que es un proyecto confidencial en proceso de obtener su protección intelectual, si desea más información comunicarse al: 5556229985 ext 402.

RESUMEN

El proyecto de diseño a tratar en esta investigación expone una capacidad¹ principal del cuerpo humano, la motricidad o movimiento del cuerpo; es importante destacar que hay dos vertientes significativas que conformaron este trabajo, el área de medicina y la ingeniería.

El proyecto “Simuladores Médicos” se ha trabajado en conjunto con la Facultad de Medicina de la UNAM desde el 2017, uniendo una brecha entre estos dos campos, ya que para entender las necesidades de Medicina fue necesario que los estudiantes de Ingeniería ampliaran sus conocimientos en dicha área; esto llevó al proyecto pasar por diferentes fases, tal y como menciona Carolina C. Alarcón (2019) en su Tesis de Maestría *Diseño, construcción y evaluación de un dispositivo para la mejora de la motricidad fina de estudiantes de medicina*, siendo requerido rediseñar el dispositivo, dando inicio con el tema de esta tesis.

Este trabajo abarca toda una investigación que se inició del punto más genérico, hasta el más específico, es decir, mediante el entendimiento de la motricidad, así como todas sus características, se logró realizar un rediseño completo, desde su estructura y el material de manufactura, hasta algunos de sus componentes electrónicos.

La metodología empleada “Diseño centrado en el usuario” fomentó la interacción directa con el usuario en puntos importantes de la investigación, permitiendo mejorar el dispositivo en cada iteración.

Actualmente se cuenta con una patente (Dispositivo para el desarrollo de la motricidad fina en miembros superiores) del último diseño establecido en la Tesis de Maestría *Diseño construcción y evaluación de un dispositivo para la mejora de la motricidad fina de estudiantes de medicina* de Carolina C. Alarcón (2019).

Los diferentes aspectos que contiene el nuevo diseño lo llevaron a ser un dispositivo más ergonómico comparado con el anterior, con menor número de piezas, mayor facilidad de ensamble, menor tiempo de manufactura y una mayor comodidad en la interacción con el usuario.

¹ Capacidad física. Es el desarrollo fisiológico que alcanza el ser humano a medida que se va enfrentando a la vida (Carrillo, Aguilar, & González, 2020).

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	(4)
CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES	(5)
1.1 Motricidad	(5)
1.2 La motricidad en nuestro día a día	(5)
1.3 Estructura del cuerpo involucrada en el estudio de la motricidad	(7)
1.3.1 Miembro superior	(8)
1.3.2 Cuello	(18)
1.3.3 Tórax	(20)
1.4 Enfermedades que alteran la motricidad y lesiones	(23)
CAPÍTULO 2. DEFINICIÓN DEL PROYECTO	(26)
2.1 Objetivos	(26)
2.2 Alcances	(26)
2.3 Hipótesis	(26)
2.4 Equipo de trabajo	(26)
CAPÍTULO 3. PROCESO DE DISEÑO	(28)
3.1 Estado del arte	(28)
3.1.1 Marco teórico	(28)
3.1.2 Productos en el Mercado	(29)
3.1.3 Patentes	(30)
3.1.4 Dimensiones antropomórficas de la población Mexicana	(37)
CAPÍTULO 4. NUEVO DISEÑO	(45)
4.1 Necesidades y especificaciones	(45)
4.2 MedingToy.....	(46)
4.2.1 Diseño mecánico	(46)
4.2.1.1 Diseño de sujeción	(46)
a. Prototipos de función crítica de sujeción	(46)
b. Pruebas	(48)
c. Análisis	(49)
4.2.1.2 Diseño del cuerpo	(52)
a. Prototipo de función crítica del cuerpo I	(52)
b. Pruebas I	(53)
c. Análisis I	(54)
d. Prototipo de función crítica del cuerpo II	(56)
e. Análisis II	(56)
4.2.1.3 Diseño integrado	(57)
a. Prototipo funcional integrado I	(57)
b. Pruebas I	(60)
c. Análisis I	(61)
d. Prototipo funcional integrado II	(61)
e. Análisis II	(62)

f. Prototipo funcional integrado III	(63)
g. Análisis III	(66)
h. Prototipo funcional integrado IV	(67)
i. Análisis IV	(69)
4.2.2 Diseño electrónico	(70)
4.2.3 Software	(71)
CAPÍTULO 5. RESULTADOS FINALES	(73)
5.1 Pruebas del diseño mecánico	(73)
5.2 Análisis de resultados	(73)
5.3 Prototipo final	(75)
5.4 Análisis de costos	(76)
CONCLUSIONES	(78)
REFERENCIAS	(79)
ANEXOS	(83)
Anexo A	(83)
Anexo B	(88)
Anexo C	(92)

INTRODUCCIÓN

La presente investigación muestra el proceso de diseño que se lleva a cabo previo a una iteración o prototipo final, ya que el diseñador debe enfocarse en dos elementos esenciales, la valoración del usuario y su propio criterio, respetando siempre las necesidades y especificaciones establecidas.

La valoración del usuario es importante, ya que él definirá si el prototipo puede o no pasar a la siguiente iteración, por otro lado, para que el diseñador pueda tener criterio sobre la investigación debe conocer cada una de sus características, es decir, entender todos sus antecedentes, desde lo más esencial como una definición, hasta lo más complejo como los daños a largo plazo que puede provocar un mal movimiento en una parte del cuerpo, tal y como se verá a lo largo del Capítulo 1.

En cada capítulo de esta tesis se desarrolla una fase diferente para concluir en un diseño final, se conforma por 5 de ellos, como ya se describió en términos generales el primero, a continuación, se hará lo mismo con cada uno de los restantes.

El segundo capítulo abarca todo el planteamiento inicial previo al diseño, es decir, los parámetros de esta tesis, tales como los objetivos, alcances y la hipótesis, cuya premisa se basa en los avances presentados con las versiones anteriores.

En el tercer capítulo se da inicio al proceso de diseño, comenzando por introducir el proyecto del que surge esta tesis, “Simuladores Médicos”, enseguida se encuentra la investigación del estado del arte, buscando diseños que tienen un objetivo similar al de este proyecto, así como investigaciones que faciliten información sobre medidas de las manos, ya que será un factor clave para mejorar la ergonomía del diseño.

El cuarto capítulo comienza plenamente con el nuevo diseño, como se introduce en el capítulo 3, el proyecto “Simuladores Médicos” ya tiene una solución a su problema principal, la falta de motricidad en los estudiantes de la Facultad de Medicina de la UNAM, sin embargo, aún hay características por mejorar en su solución, por ello después de entender a fondo la investigación, así como su solución hasta ahora, se formula una serie de necesidades y especificaciones para iniciar totalmente con el diseño, respaldándolo mediante pruebas con diferentes usuarios y su análisis, iteración tras iteración.

Finalmente, el capítulo cinco muestra un desenlace completo reduciendo los prototipos o iteraciones del capítulo cuatro, a un diseño definitivo, evaluando cada uno de sus rasgos, desde su funcionalidad y la integración total de electrónica y programación, hasta el análisis de costos con la comparación entre Accury² y MedingToy³.

² Accury. Dispositivo cuyo propósito es mejorar la motricidad fina.

³ MedingToy. Última versión del dispositivo Accury.

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES

1.1 Motricidad

De acuerdo con la RAE, motricidad es definida como la capacidad que tiene el cuerpo para moverse o producir algún movimiento (Real Academia Española, definición 2, s.f.), es decir, es la destreza que posee el cuerpo para efectuar diferentes movimientos; estos movimientos pueden cambiar de acuerdo con su nivel de dificultad, desde acciones simples como sujetar un lápiz y levantar una pierna, hasta actividades más complejas como flexionar determinadas partes del cuerpo para posturas de yoga.

La motricidad se divide en dos categorías principales, gruesa y fina, cada una de estas clasificaciones presenta características distintas, porque implica el movimiento de diferentes partes del cuerpo, en consecuencia, los movimientos asociados a cada una de ellas serán distintos.

- Motricidad gruesa. Motricidad que involucra movimientos que se aprenden en los primeros años de crecimiento, como caminar, correr, saltar, girar, etc., sumando los movimientos que se aprenden en cualquier etapa de la vida, como pedalear al montar en bicicleta o nadar cuando se practica natación. La motricidad gruesa implica movimientos en partes gruesas del cuerpo, es decir, donde los músculos son más grandes, como lo es la cabeza, extremidades superiores, el tronco y las extremidades inferiores (Díaz Reátegui & Sisley Tello de Lozano, 2018).
- Motricidad fina. De acuerdo con Mendoza Morán (2017), en su artículo *Desarrollo de la motricidad fina y gruesa en la etapa infantil*, la motricidad fina implica movimientos suaves en limitados grupos de músculos que se ubican en la cara, manos y pies; en lo que respecta a las manos, estos movimientos son aquellos que se observan en los dedos al ejercer diferentes posiciones para todo tipo de actividades (presionar un mouse, trenzar el cabello o tocar el piano).

Estos dos tipos de motricidad son de gran importancia para el hombre, puesto que desde la infancia se comienzan a desarrollar, sin embargo, en ocasiones cuando llega la etapa de madurez se encuentra una discrepancia en la población, es decir, dado que no todos desarrollan la misma capacidad de movimiento, algunos deben practicar más diferentes posturas o ejercicios (los que necesite la persona), ya sea por situaciones puramente médicas (enfermedades que degeneran la movilidad, anomalías congénitas⁴) o para tener un desempeño superior al ejecutar una actividad (bailar, tocar un instrumento o hacer trabajos que involucren las manos).

1.2 La motricidad en nuestro día a día

Es importante resaltar la teoría de Piaget, afirma que la inteligencia se constituye a partir de la actividad motriz de los niños (Mendoza Morán, 2017), por ello es valioso que realicen actividades provechosas para su desarrollo motriz. Los ejercicios manuales (jugar con plastilina

⁴ Anomalías o defectos congénitos. Conjunto de alteraciones originadas antes del nacimiento, las cuales pueden ser estructurales o funcionales (CENAGEM, 2020).

o pegar botones siguiendo una línea) los ayudarán con el desarrollo de la motricidad fina y los ejercicios que impliquen más esfuerzo físico como lanzar pelotas o saltar la cuerda, contribuirán al progreso de la motricidad gruesa.

Realizar actividades durante la niñez estimula el aprendizaje motriz, porque brinda diferentes beneficios, entre ellos se encuentran: el equilibrio, la coordinación y diversas habilidades físicas que se desarrollan a través de los deportes, destacando capacidades cognitivas⁵ y sociales, convirtiendo a los centros de estudio infantil en los mejores lugares para iniciar el desarrollo de la motricidad.

Motricidad en la infancia

Lograr un desarrollo adecuado de la motricidad no es un proceso sencillo, especialmente porque dicho proceso inicia durante la infancia. Con relación a la motricidad gruesa, la implementación de educación física y deporte en las escuelas ayudan a que el niño tenga una mejor coordinación, así como las diferentes actividades físicas realizadas (jugar con una pelota o correr con más niños) en un ambiente fuera de la escuela como un parque o jardín en casa (Díaz Reátegui & Sisley Tello de Lozano, 2018).

La motricidad fina “... Es compleja y exige la participación de muchas áreas corticales⁶, hace referencia a la coordinación de las funciones neurológicas, esqueléticas y musculares utilizadas para producir movimientos precisos” (Cabrera Valdés & Dupeyrón García, 2019); por ello, para desarrollar este tipo de motricidad desde la infancia, los niños deben hacer actividades que involucren la coordinación ojo-mano.

En el estudio *El desarrollo de la motricidad fina en los niños y niñas del grado preescolar* realizado por Cabrera Valdés y Dupeyrón García (2019) en Pinar del Río, Cuba, en un centro infantil, siendo su objetivo conocer el nivel de motricidad fina en niños, se hicieron pruebas iniciales y finales mediante diferentes actividades para saber si practicar ciertas acciones, como trazar líneas siguiendo puntos, rellenar círculos, dibujar formas de diferentes figuras y rellenarlas, ayudaba a los niños a mejorar su motricidad fina; en la prueba final concluyeron que dichas actividades estimularon su desarrollo por lograr lo siguiente:

- Controlar la prensión⁷ de objetos.
- Realizar movimientos precisos de manos y dedos.
- Fortalecer pequeños músculos de la mano.
- Dominio de las técnicas en las acciones de rasgar, trazar, colorear, recortar.

⁵ Capacidad cognitiva. “Destrezas y procesos de la mente necesarios para realizar una tarea” (Teulé-Melero, 2015).

⁶ Áreas corticales. “Responsables por las funciones elementales tanto motoras como sensitivas” (Nova, Santiago, 2023).

⁷ Prender. “Asir, agarrar, sujetar algo” (Real Academia Española, definición 1, s.f.).

Motricidad en un adolescente-adulto

El desarrollo de la motricidad en un niño se encuentra a cargo de la escuela y su familia, porque el infante todavía no comprende el significado de ser autodidacta, sin embargo, al llegar a la etapa de adolescencia esto cambia. De acuerdo con un conversatorio realizado a Raúl Cuero científico colombiano en la Universidad del Rosario, Colombia, los jóvenes tienen un problema, su destreza manual se deteriora debido a que su atención se centra más en una computadora que en un deporte o algún tipo de ejercicio físico (Universia, 2013).

Atendiendo este problema que se ha vuelto un hábito para los jóvenes, las escuelas cuentan con diferentes programas que fomentan la actividad física, el deporte y el arte en la vida de los jóvenes-adultos, debido a que, “Toda persona tiene derecho a la cultura física y a la práctica del deporte. Corresponde al Estado su promoción, fomento y estímulo conforme a las leyes en la materia” (Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos [Const], 2022).

Considerando que la actividad física favorece el desarrollo de músculos grandes, como los ubicados en las extremidades del cuerpo, es decir, las piernas y brazos, practicar un deporte como fútbol, voleibol o incluso natación, produce movimiento en estos conjuntos de músculos, beneficiando su desarrollo; así mismo, las personas con diferentes hábitos como caminar, salir a correr o incluso bailar por afición, impulsan su coordinación y equilibrio (motricidad gruesa).

A fin de desarrollar más precisión, las actividades que facilitan el desarrollo de movimientos finos son más convencionales en el día a día, pues las acciones que llevan a cabo las manos y dedos en conjunto pueden ser: tomar un lápiz, pintar o tocar instrumentos de cuerda (guitarra, arpa, piano, etc.) y viento (flauta, trompeta, trompa, etc.).

Con las diferentes actividades que se originan en la vida cotidiana, como tocar un instrumento, realizar deporte o pintar, un adolescente-adulto crece para convertirse en una persona con diferentes habilidades motrices que podrá desarrollar aún más en empleos donde se demande alta precisión en manos y dedos, como la que requieren: un Médico Cirujano cuando se encuentra dentro de un quirófano, un obrero en cadenas de producción, un ingeniero (eléctrico), entre otros.

1.3 Estructuras del cuerpo involucradas en el estudio de la motricidad

La sección “La motricidad en nuestro día a día” hace mención al impacto que tiene realizar diferentes actividades físicas en el desarrollo de la motricidad fina, así como algunos ejemplos de ejercicios que usualmente practican las personas, sin embargo, aún no se hace alusión a las partes del cuerpo involucradas en estos movimientos, junto con su anatomía⁸, por lo cual, con motivo de conocer cómo funcionan mecánicamente y entender de tal manera que se asocien los movimientos (referentes a la motricidad fina) con el funcionamiento que efectúan

⁸ Anatomía. “Ciencia que estudia la estructura y forma de los seres vivos y las relaciones entre las diversas partes que los constituyen” (Real Academia Española, definición 1, s.f.).

las articulaciones, los ligamentos y músculos; se describirá la anatomía de algunas de estas partes del cuerpo humano.

1.3.1 Miembro superior

El miembro superior es un conjunto de partes del cuerpo humano que se encuentra conformado por el hombro, el brazo, el antebrazo y la mano (*fig. 1.1*), las cuales cumplen con diferentes funciones, sin embargo, en conjunto algunas de sus actividades esenciales son los movimientos o acciones motoras finas, por consiguiente, algunas de estas son más perceptibles en la mano cuando se realizan movimientos suaves, como coser o escribir.

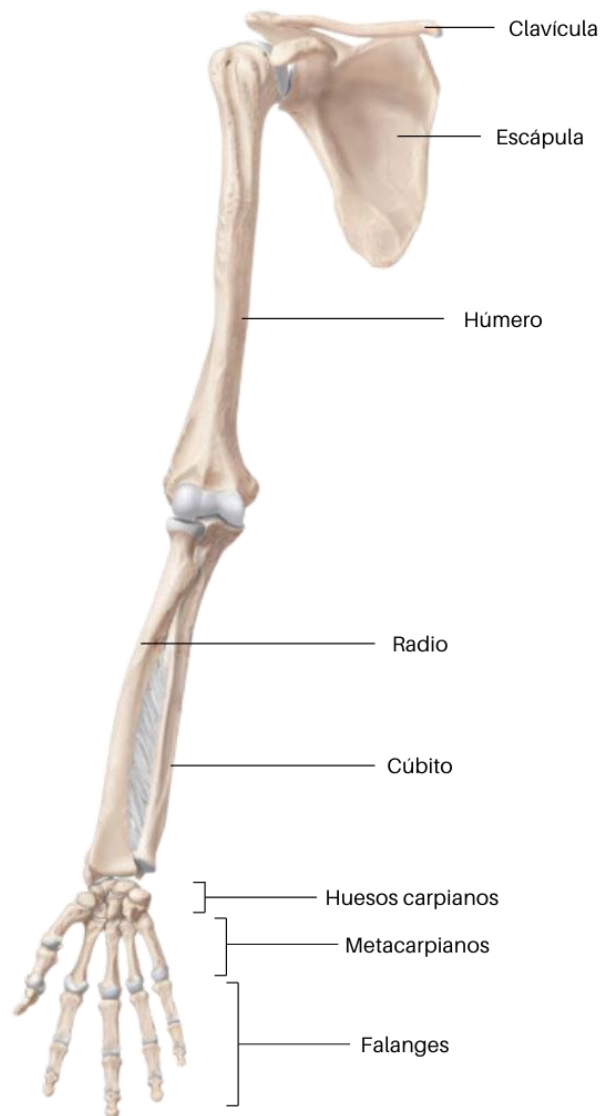


Figura 1.1. Huesos del miembro superior. Adaptado de “Principios de Anatomía y Fisiología”, por Tortora G. y Derrickson B., 2015, Editorial Médica Panamericana, p. 260, © 2015.

Huesos del miembro superior

En la *Tabla 1.1* se describe la función que tiene cada hueso, de igual forma se segmenta de acuerdo con la parte del miembro superior a la cual pertenece.

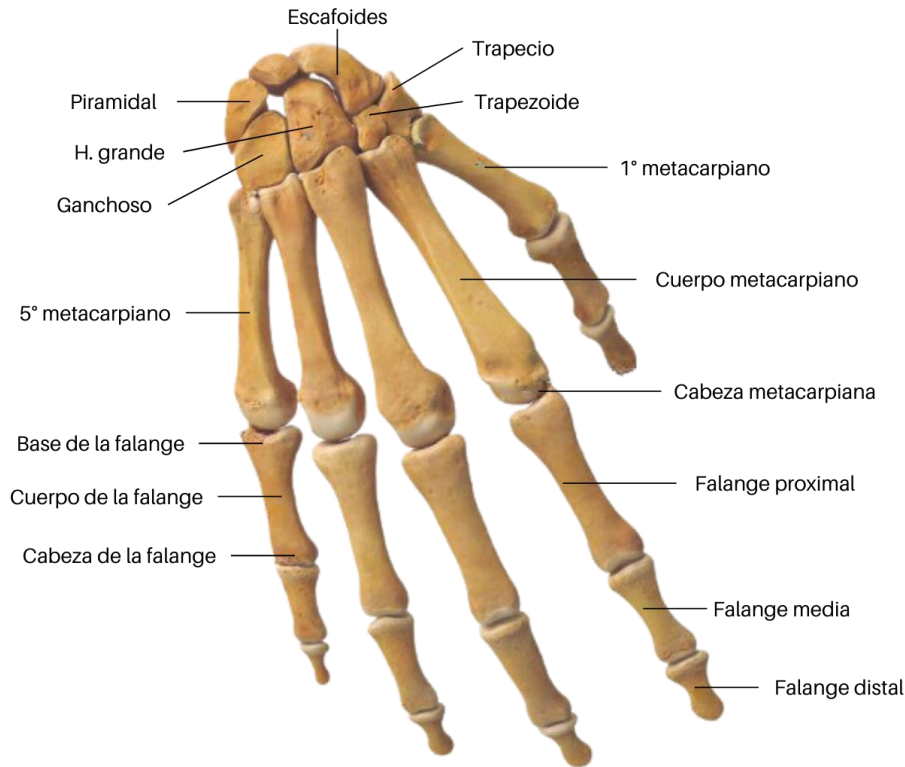


Figura 1.2. *Huesos de la mano.* Adaptado de “Anatomía Humana”, por García-Porrero J. A. y Hurlé J. M., 2020, Editorial Médica Panamericana, p. 151, © 2020.

Como se explica en la *Tabla 1.1*, la mano está compuesta de diferentes huesos (*fig. 1.2*), iniciando con los huesos carpianos, seguidos de los metacarpianos y finalmente las falanges, sin embargo, se debe mencionar que cada hueso carpiano tiene un nombre diferente, siendo: hueso pisiforme, hueso semilunar, hueso escafoides, hueso piramidal, hueso ganchoso, hueso grande, hueso trapezoide y hueso trapecio, esto es debido a que se articulan entre sí y no son geoméricamente iguales, además se encuentran dispuestos en dos filas transversales, la primera fila o fila superior comprende los primeros 4 huesos ya mencionados, mientras que la segunda fila o fila inferior abarca los restantes.

Tabla 1.1*Huesos del miembro superior*

Segmentos	Hueso	Función	
Hombro y brazo	Clavícula	Actúa como soporte rígido para evitar que la escápula se una con el tronco y tenga mayor movimiento.	
	Escápula	Actúa como una base en la cual el miembro superior aplica movimiento; de esta forma, el brazo tiene más movilidad (se articula con la clavícula y el húmero).	
	Húmero	Actúa como conector formando dos articulaciones: la del hombro (conecta con la escápula) y la del codo (conecta con el antebrazo), siendo el hueso con mayor longitud del miembro superior.	
Antebrazo	Ulna o cúbito	Se encarga de la estabilidad del antebrazo, articulándose de la parte inferior del húmero, permitiendo movimientos como flexionar o estirar.	
	Radio	Se articula superiormente con la ulna y el húmero, lo que permite los mismos movimientos que la ulna, debido a su dependencia.	
Mano⁹	Carpianos (8 huesos)	Sus funciones son: brindar flexibilidad al carpo (muñeca) e incrementar la amplitud de los movimientos de la articulación que conecta al radio con la muñeca ¹⁰ .	
	Metacarpianos (5 huesos)	Forman los nudos (“nudillos”) al articularse superiormente con las falanges proximales e inferiormente con huesos carpianos.	
	Falanges (14 huesos)	Proximal (5 huesos)	Es la base de la falange cuya función es unirse o articularse de los extremos con los huesos metacarpianos y las falanges medias.
		Media (4 huesos)	Es el cuerpo de la falange cuya función es articularse de sus extremos con las falanges proximales y distales (exceptuando el pulgar, no cuenta con esta falange).
		Distal (5 huesos)	Es la cabeza de la falange que se articula con la falange media (<i>fig. 1.2</i>).

Nota: Adaptado de “Anatomía con orientación clínica”, por Moore K., Dalley A. y Agur A., 2013, Wolters Kluwer, pp. 673-680, © 2013.

⁹ Brazo. “Parte del cuerpo humano unida a la extremidad del antebrazo y que comprende desde la muñeca inclusive hasta la punta de los dedos” (Real Academia Española d. 1., s.f.)

¹⁰ Muñeca. “Parte del cuerpo humano en donde se articula la mano con el antebrazo” (Real Academia Española d. 7., s.f.).

Articulaciones, ligamentos y movimientos del miembro superior

Una articulación es aquel punto de unión o contacto entre: dos huesos, hueso y cartílago o diente y hueso; está conformado por ligamentos y músculos, los ligamentos¹¹ son aquellos que unen o ligan a los huesos, localizándose en la parte exterior de la articulación para brindar estabilidad (Tortora & Derrickson, 2015).

Hombro

La articulación del hombro se sitúa (contacto entre dos huesos) entre la parte superior del húmero (cabeza) y una esquina superior de la escápula, dando como resultado de esta unión los movimientos ilustrados en la *Figura 1.3*.

Cuenta con 3 ligamentos (coracohumeral, glenohumeral y transversal del húmero) cuyas funciones principales son: mantener unidos los huesos y dar estabilidad cuando el movimiento del hombro llega al límite de su rango. Además de los ligamentos, para evitar lesiones y amortiguar el movimiento, el hombro contiene bolsas sinoviales, las cuales son sacos con líquido que se ubican en esta zona a causa de la fricción generada por los movimientos efectuados (Villa-Forte, Alexandra, s.f.).

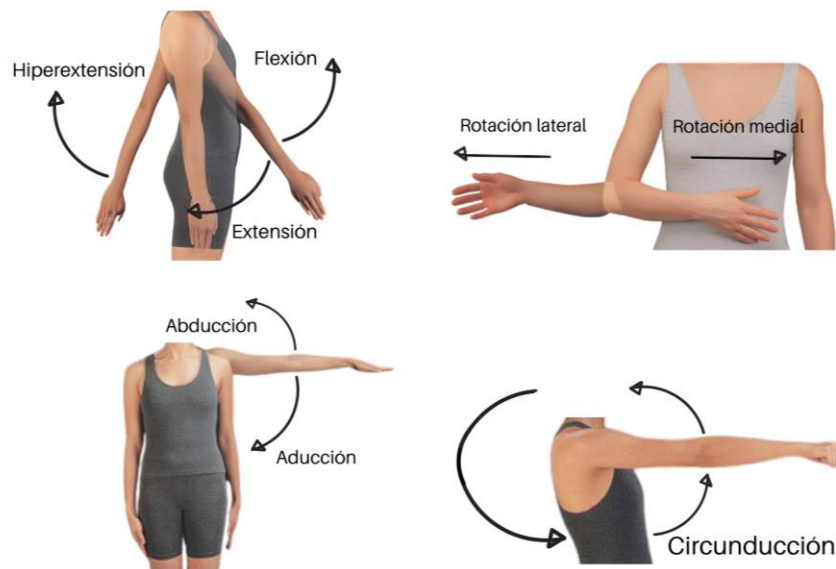


Figura 1.3. *Movimientos del hombro.* Adaptado de “Principios de Anatomía y Fisiología”, por Tortora G. y Derrickson B., 2015, Editorial Médica Panamericana, pp. 297-299, © 2015.

¹¹ Ligamento. “Elemento de unión, de tejido fibroso** muy homogéneo y de gran resistencia, que liga los huesos de las articulaciones” (Real Academia Española, definición 2, s.f.).

** Tejido fibroso. “Tejido que se compone, en su mayor parte, de fibras proteicas resistentes llamadas colágeno” (Instituto Nacional del Cáncer, s.f.).

Codo

La articulación del codo une al húmero del extremo inferior con los extremos del radio y la ulna, permitiendo los movimientos: flexión y extensión (*fig. 1.4*) del antebrazo.

Sus 3 ligamentos principales son: colateral cubital, colateral radial y anular del radio, caracterizándose por sujetar la cabeza del radio y la ulna, manteniendo su unión y estabilidad (Tortora & Derrickson, 2015).

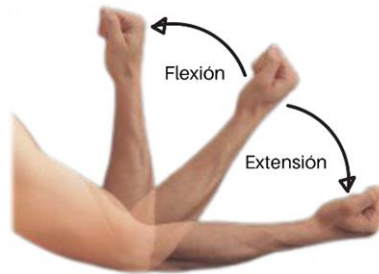


Figura 1.4. *Movimientos del codo.* Adaptado de “Principios de Anatomía y Fisiología”, por Tortora G. y Derrickson B., 2015, Editorial Médica Panamericana, p. 297, © 2015.

De acuerdo con Moore, Dalley y Agur (2013), la ulna y el radio cuentan con dos articulaciones más, la articulación radioulnar proximal y distal (*fig. 1.5-a*), ubicadas en los extremos de la unión de estos huesos; la proximal posibilita los movimientos de supinación y pronación del antebrazo y la radioulnar facilita el movimiento del radio, es decir, la rotación sobre su propio eje; sus respectivos ligamentos, el anular del radio y ligamento triangular, proporcionan facilidad de movimiento a estos huesos, de tal modo que su rotación se lleva a cabo sin obstrucción alguna.

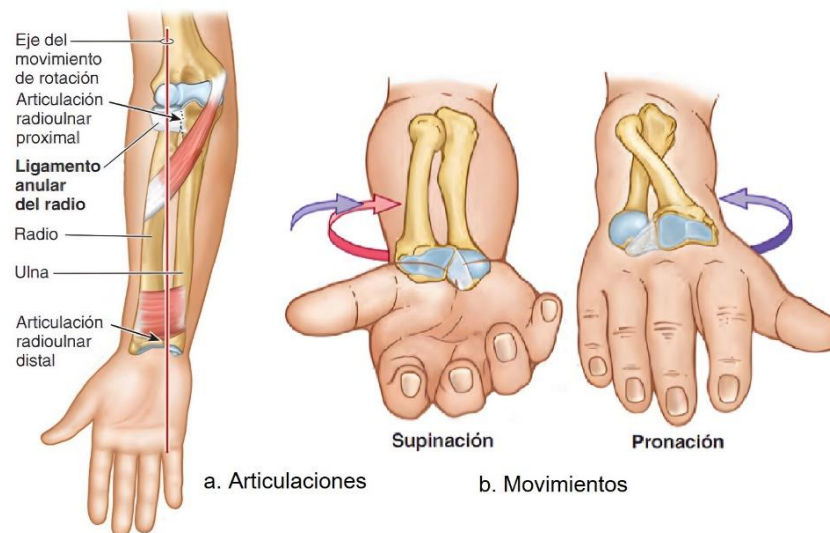


Figura 1.5. *Articulaciones y movimientos del antebrazo.* Adaptado de “Anatomía con orientación clínica”, por Moore K., Dalley A. y Agur A., 2013, Wolters Kluwer, pp. 805 y 806, © 2013.

El movimiento supinación se caracteriza por la rotación lateral del radio sobre su eje longitudinal, de tal modo que la orientación final de la mano es como la ilustrada en la primera imagen de la *Figura 1.5-b*; en cuanto a la pronación, el radio rota alrededor de su eje longitudinal, dando como orientación final la que se observa en la segunda imagen de la misma *Figura 1.5-b*.

Mano

La mano se conforma por diferentes huesos, articulaciones y ligamentos, tal y como se observa en la *Figura 1.6*, dependiendo de la zona en la que se encuentren, será la función que cumplan.

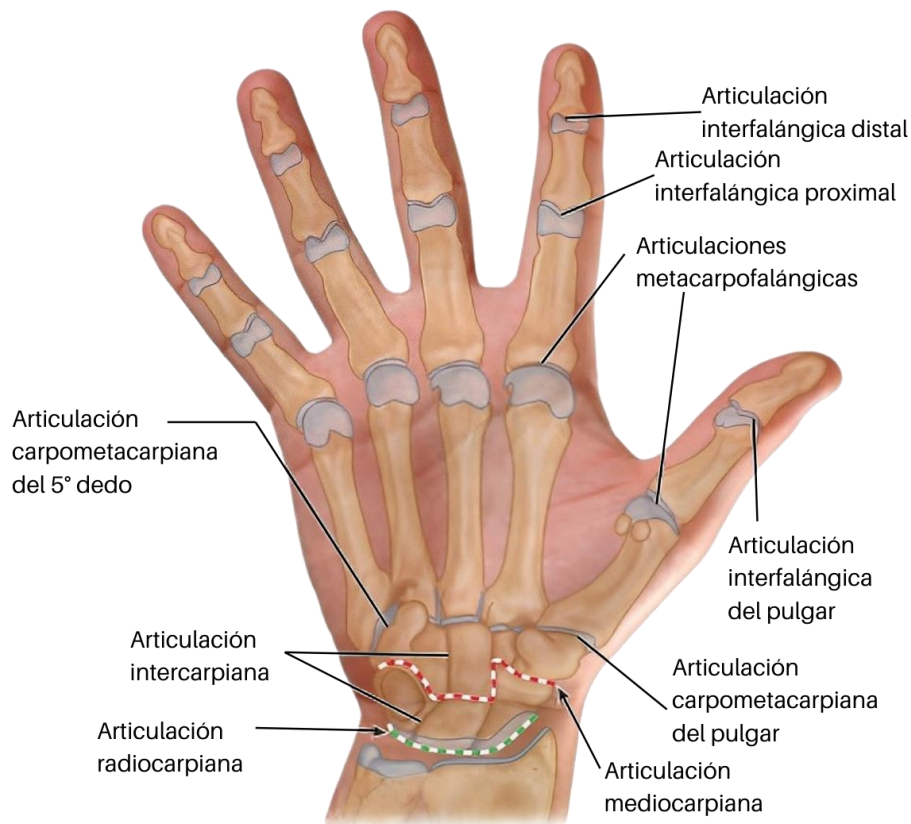


Figura 1.6. *Articulaciones de la mano.* Adaptado de “Anatomía con orientación clínica”, por Moore K., Dalley A. y Agur A., 2013, Wolters Kluwer, p. 788, © 2013.

Las articulaciones y ligamentos que conforman la mano se presentan en la *Tabla 1.2*, así como las funciones generales de estos ligamentos y los movimientos con los que cuenta cada articulación.

Los movimientos de la mano son variados, debido a su número de huesos, posee diferentes articulaciones, las cuales le ayudan a mantener una mayor movilidad; algunos de estos movimientos se ilustran en la *Figura 1.7*.

Tabla 1.2*Articulaciones y movimientos de la mano*

Articulación	Unión	Movimientos	Ligamentos	Función
Radiocarpiana	Unión del extremo inferior de los huesos del antebrazo y el primer conjunto de huesos carpianos.	Flexión, extensión, hiperextensión, abducción y aducción.	Radiocarpianos palmares y dorsales, colateral cubital y radial.	Mantienen la unión del radio con los huesos carpianos.
Intercarpianas	Unión que se tiene entre cada hueso de la primera y segunda fila de huesos carpianos, así mismo la unión entre la primera y segunda fila.	Pequeños movimientos entre los huesos.	Metacarpianos interóseos, palmares y dorsales.	Actúan como refuerzos para mantener una unión sólida entre los huesos que conforman esta articulación.
Carpometacarpianas	Conectan los huesos metacarpianos con la segunda fila de huesos carpianos.	El pulgar: Flexión, extensión, aducción, abducción y circunducción.	Carpometacarpianos interóseos, palmares y dorsales.	Evitan la separación de los huesos ya mencionados y le dan movilidad al dedo pulgar.
Metacarpofalángicas	Ubicadas entre la cabeza de los huesos metacarpianos y la base de las falanges proximales.	Flexión, extensión, abducción, aducción y ligeramente circunducción.	Palmares y colaterales.	Conectan lateralmente los huesos de cada articulación y mantienen unida la cara palmar de estas articulaciones.
Interfalángicas	Conectan la falange proximal con la extremidad inferior de la falange media y, a su vez, esta se conecta con la falange distal.	Flexión y extensión, excepto el pulgar, debido a que no realiza oposición.	Palmares y colaterales.	Conectan lateralmente los huesos de cada articulación y mantienen unida la cara palmar de estas articulaciones.

Nota. Adaptado de "Anatomía humana", por García-Porrero J. A., & Hurlé J. M., 2020, Editorial Médica Panamericana, pp. 202-209 © 2020, y de "Anatomía humana", por Latarjet, M., & Ruiz, A., 2012, Editorial Médica Panamericana, pp. 548- 557, © 2012.



Figura 1.7. *Movimientos de la mano.* Adaptado de “Principios de Anatomía y Fisiología”, por Tortora G. y Derrickson B., 2015, Editorial Médica Panamericana, pp. 297-300, © 2015.

Músculos del miembro superior

Los músculos son masas carnosas que permiten movilidad y dan forma al cuerpo, ubicándose en la parte exterior del hueso o bajo la piel (García-Porrero & Hurlé, 2020).

Los músculos del miembro superior se pueden agrupar en 4 secciones, de acuerdo con la zona del miembro en la que se encuentran.

Músculos que unen el miembro superior al tronco

Músculos que intervienen en la dinámica de diferentes articulaciones, desde las correspondientes a la cintura escapular¹², hasta algunas de las costillas (participan en la respiración), no obstante, esta sección dispone de subsecciones, las cuales se dividen en función de los huesos involucrados (García-Porrero & Hurlé, 2020). Las dos subsecciones que se presentan son: músculos que conectan el tronco a la cintura escapular y músculos que unen el tronco al húmero, estas se abordan en términos generales en la *Figura 1.8*.

Músculos del hombro

Músculos encargados del movimiento del húmero, cruzan la articulación del hombro, originándose en la escápula y ayudan en la flexión y rotación del brazo, así como en sus movimientos de extensión y aducción (Tortora & Derrickson, 2015); algunos de ellos se listan a continuación:

- Músculo deltoides
- Músculo subescapular
- Músculo supraespinoso
- Músculo infraespinoso
- Músculo redondo mayor
- Músculo redondo menor
- Músculo coracobraquia

¹² Cintura escapular. Conjunto de huesos conformado por la escápula y la clavícula (Laguna, 2023).

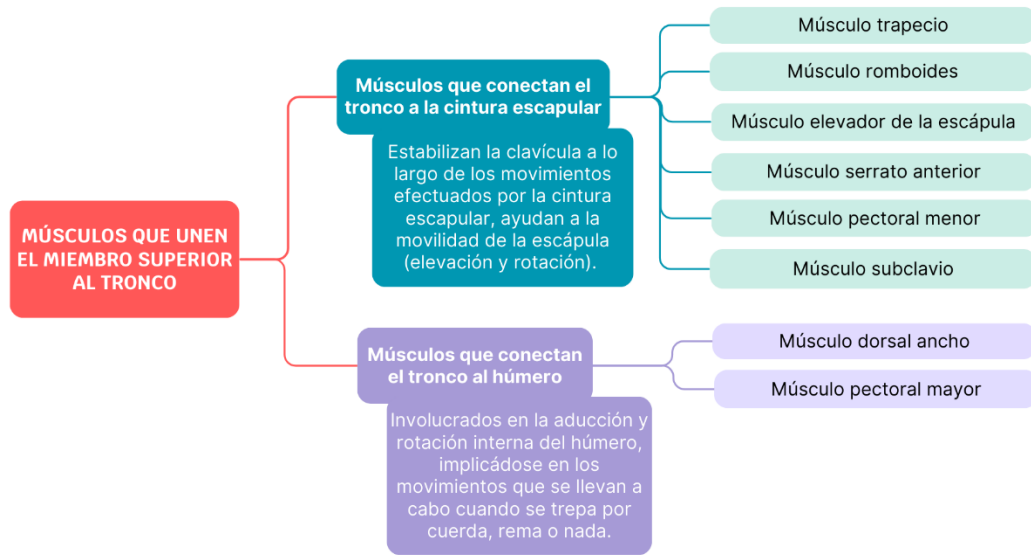


Figura 1.8. Mapa de los músculos que unen la cintura escapular y el húmero al tronco. Adaptado de “Anatomía humana”, por García-Porrero J. A., & Hurlé J. M., 2020, Editorial Médica Panamericana, pp. 155-158 © 2020, y de “Anatomía humana”, por Latarjet, M., & Ruiz, A., 2012, Editorial Médica Panamericana, pp. 497-513, © 2012.

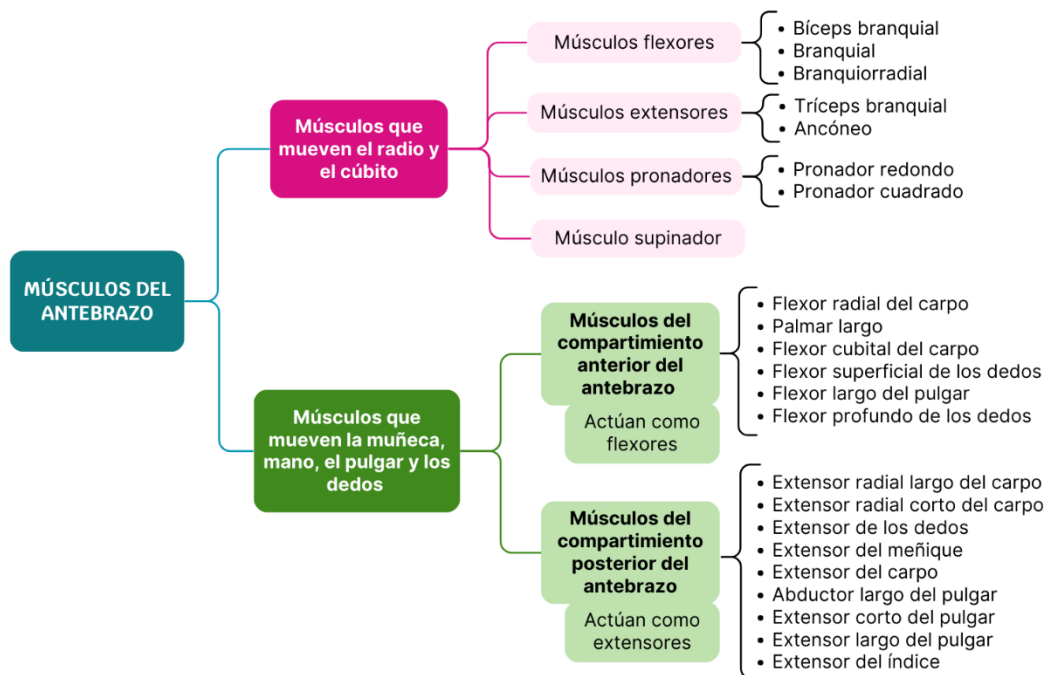


Figura 1.9. Mapa de la distribución de los músculos del antebrazo. Adaptado de “Principios de Anatomía y Fisiología”, por Tortora G. y Derrickson B., 2015, Editorial Médica Panamericana, pp. 405-416, © 2015.

Músculos del antebrazo

Los músculos del antebrazo tienen la capacidad de mover a los propios huesos del antebrazo (radio y cúbito), la muñeca, la mano, los dedos y el pulgar, sin embargo, estos se pueden agrupar en dos secciones por su función, simplificando su descripción como se observa en la *Figura 1.9*, donde, en la primera subsección de músculos, los dos iniciales (flexores y extensores) producen su movimiento en la articulación del codo, mientras que los restantes lo hacen en las articulaciones radioulnares o radiocubitales.

Los músculos del compartimiento anterior y posterior del antebrazo (*fig. 1.9*) se originan en el húmero, los primeros se conectan con los huesos del carpo, metacarpianos y falanges, a diferencia de los segundos que solo se conectan con los metacarpianos y las falanges.

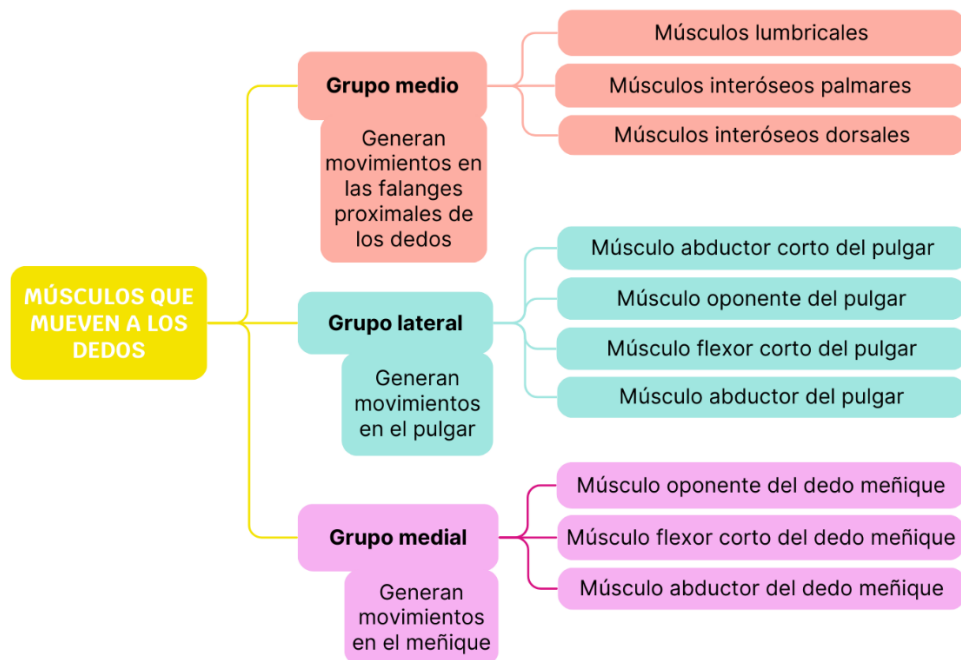


Figura 1.10. Mapa de los grupos de músculos de la mano. Adaptado de “Anatomía humana”, por García-Porrero J. A., y Hurlé J. M., 2020, Editorial Médica Panamericana, pp. 165-178, © 2020.

Músculos de la mano

Los músculos que componen la mano son importantes, ya que brindan movilidad a todos los dedos de diferentes maneras, desde movimientos débiles, hasta precisos, sin embargo, la capacidad de la mano está sujeta a los movimientos del pulgar, por ejemplo, las actividades generales de la mano que involucran al pulgar son (Tortora & Derrickson, 2015):

- Movimiento libre
- Fuerza de prensión (compresión de los dedos y el pulgar contra la palma).
- Pellizco (compresión entre el pulgar-dedo índice o pulgar-primeros dedos).

- Manipulación de precisión (cambio de posición de un objeto con exactitud de los dedos y el pulgar).

Estos músculos pueden ser clasificados en tres categorías, las cuales se basan en los huesos donde se encuentran situados, por lo cual, son a los que les generan el movimiento, así como se muestra en la *Figura 1.10*.

1.3.2 Cuello

La columna vertebral equivale al 40% del peso corporal, su longitud varía, en hombres adultos es de 71 cm y en mujeres adultas de 61 cm, algunas de sus funciones son: dar soporte a todo el cuerpo, brindar movilidad (rotación, movimientos hacia enfrente, hacia atrás y hacia los costados) y sostener la cabeza. Se integra por una serie de vértebras (32-34 durante la niñez y 26 en edad adulta) dispuestas en conjuntos (*fig. 1.11-a*), siendo uno de estos el que constituye la región del cuello; al grupo de vértebras (7) perteneciente a esta sección del cuerpo se les denomina cervicales y se sitúan en la parte inicial de la columna vertebral (Tortora & Derrickson, 2015).

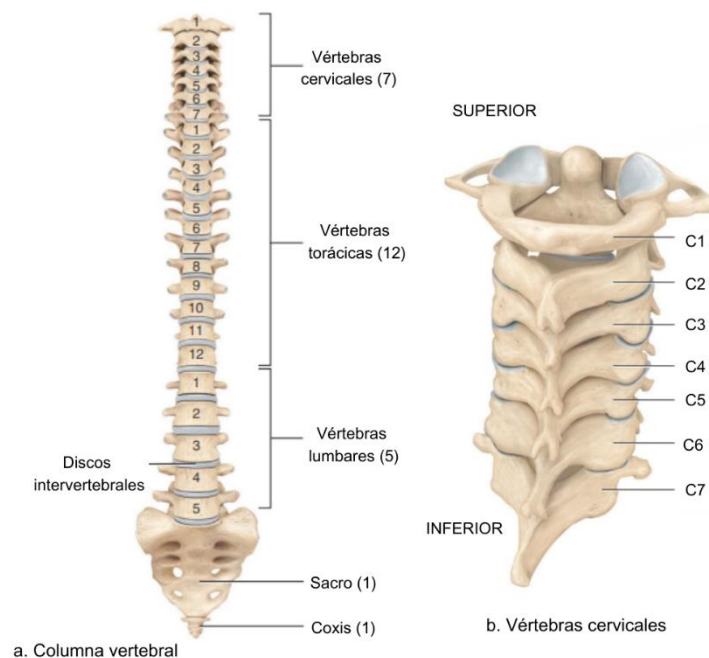


Figura 1.11. *Columna vertebral.* Adaptado de “Principios de Anatomía y Fisiología”, por Tortora G. y Derrickson B., 2015, Editorial Médica Panamericana, pp. 233 y 237, © 2015.

Huesos del cuello

Las vértebras cervicales (*fig. 1.11-b*) son los cuerpos vertebrales más pequeños, se dividen en dos tipos, las vértebras cervicales típicas (C3, C4, C5 y C6) y las atípicas (C1, C2 y C7), cuya principal diferencia es su geometría, sin embargo, su cuerpo se define por 7 rasgos (*fig. 1.12-a*): pedículos, láminas, agujero vertebral, apófisis transversas, apófisis espinosa, apófisis articulares y apófisis unciforme (Tortora & Derrickson, 2015).

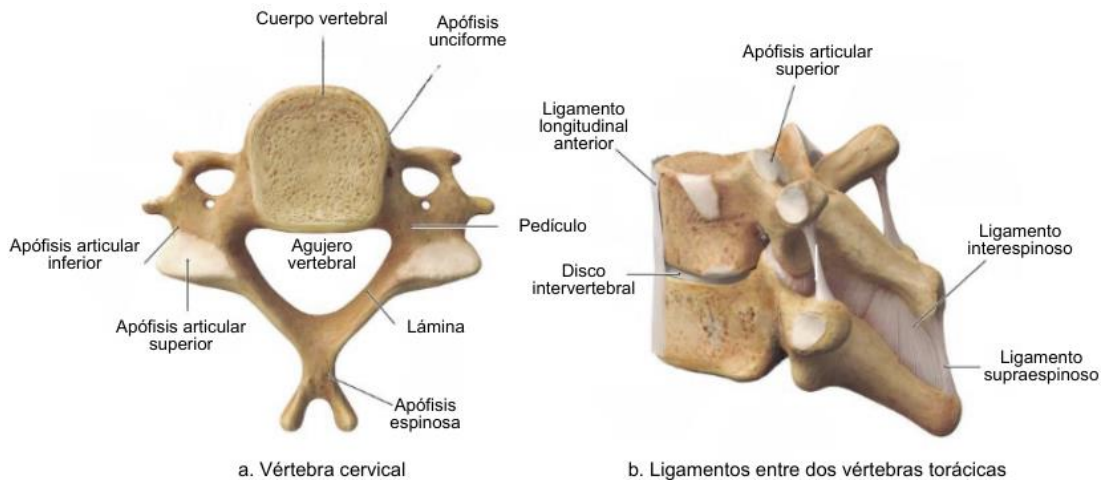


Figura 1.12. *Vértebra cervical y ligamentos.* Adaptado de “Anatomía humana”, por García-Porrero J. A., y Hurlé J. M., 2020, Editorial Médica Panamericana, pp. 70 y 78, © 2020.

El hueso hioides también forma parte del cuello, de acuerdo con Moore, Dalley, y Agur (2013) se encuentra a nivel de la vértebra C3 suspendido por algunos músculos, los cuales lo conectan a la mandíbula, las escápulas, entre otros huesos, y no se articula.

Articulaciones, ligamentos y movimientos del cuello

El cuello se conforma de diferentes articulaciones que le proporcionan estabilidad y flexibilidad, de acuerdo con Latarjet y Ruiz Liard (2012) algunas de estas articulaciones son:

- Articulaciones de los cuerpos vertebrales: Articulaciones en las que los extremos de los huesos articulados se encuentran cubiertos por un disco ancho que conecta a los huesos, siendo una articulación con ligero movimiento, los ligamentos que conforman esta articulación son discos intervertebrales, ligamento longitudinal anterior y longitudinal posterior, caracterizándose por mantener unidas a las vértebras a través de sus caras y lateralmente.
- Articulaciones de las apófisis articulares: Articulaciones establecidas entre las apófisis articulares de cada vértebra, facilitando movimientos de inclinación hacia adelante, hacia atrás, lateral y rotación (*fig. 1.13*).

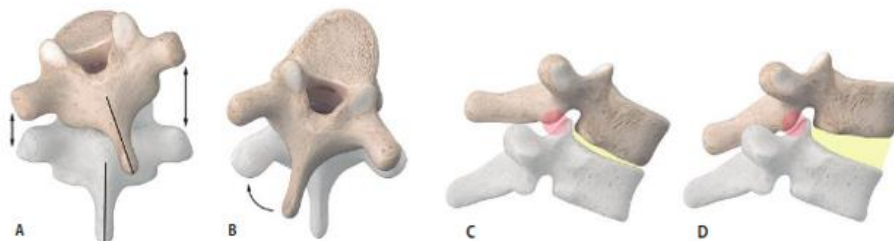


Figura 1.13. *Movimientos de las vértebras.* A) Inclinación lateral. B) Rotación. C) Inclinación hacia adelante. D) Inclinación hacia atrás. Adaptado de “Anatomía humana”, por García-Porrero J. A., y Hurlé J. M., 2020, Editorial Médica Panamericana, p. 83, © 2020.

El cuello también cuenta con otras articulaciones denominadas craneoverbrales, sin embargo, las importantes para el miembro superior son las antes mencionadas.

Los ligamentos que se encuentran en contacto con las apófisis articulares son los amarillos, sin embargo, el cuello cuenta con otros ligamentos (*fig. 1.12-b*) que unen ciertas partes de las vértebras, como:

- Ligamentos entre las apófisis espinosas: Interespinosos, supraespinosos y nual.
- Ligamentos entre las apófisis transversas: Ligamentos intertransversos.

Tabla 1.3

Músculos del cuello

Músculo	Función
Largo del cuello	Flexión y rotación del cuello.
Escaleno medio	Flexión lateral del cuello y elevación de la primera costilla durante la respiración.
Escaleno posterior	Flexión lateral del cuello y elevación de la segunda costilla durante la respiración.
Esternocleidomastoideo	Eleva extremos mediales de las clavículas cuando las vértebras cervicales se encuentran fijas, facilitando la respiración.
Esplenio del cuello	Al contraerse, el cuello se extiende.
Trapecio	<ul style="list-style-type: none"> • Eleva toda la cintura escapular. • Hace movimientos de retracción y descenso con la escápula.
Elevador de la escápula	Rota la escapula en dirección hacia abajo.

Nota: Adaptado de “*Anatomía con orientación clínica*”, por Moore, K., Dalley, A., & Agur, A., 2013, Wolters Kluwer, pp. 991-1002, © 2013.

Músculos del cuello

Los músculos del cuello tienen diferentes funciones por su conexión con algunos de los huesos que conforman la cabeza, la columna, el miembro superior y el tórax, sin embargo, dado que no todos estos músculos cumplen una función representativa para el miembro superior, la *Tabla 1.3* indica los que, cuyas acciones principales se asocian con algún hueso de este miembro, así como algunos que le permiten movilidad al cuello y sus funciones.

1.3.3 Tórax

El tórax o caja torácica se conforma por diferentes huesos, los cuales, en conjunto cumplen funciones específicas, tales como: proteger órganos vitales (corazón y pulmones) y proporcionar soporte a los huesos que integran al miembro superior (Tortora & Derrickson, 2015).

Huesos del tórax

Los huesos de la caja torácica son: el esternón, las costillas y las vértebras torácicas, así como se ilustra en la *Figura 1.14*.

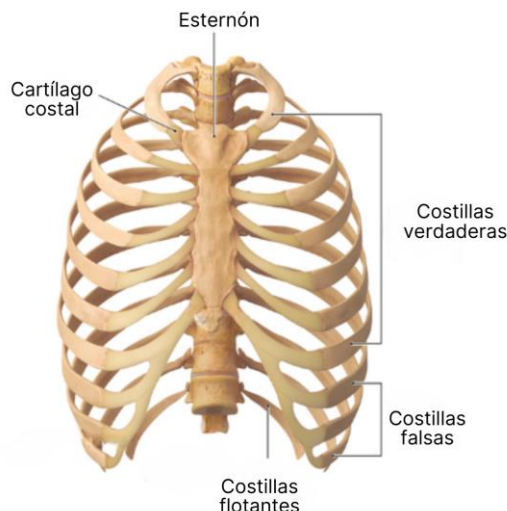


Figura 1.14. Huesos de la caja torácica. Adaptado de “Anatomía humana”, por García-Porrero J. A., y Hurlé J. M., 2020, Editorial Médica Panamericana, p. 104, © 2020.

Esternón: Hueso que cuenta con 3 segmentos, superior, medio (cuerpo) e inferior, en el extremo superior se articula con las clavículas y en sus bordes laterales se articula con los cartílagos¹³ (costales) de las costillas (Tortora & Derrickson, 2015).

Costillas: Huesos planos (12 pares) que se clasifican en 3 tipos de acuerdo con el tipo de unión del esternón (*fig. 1.14*):

- Costillas verdaderas: Unión directa formando un arco (del primer par hasta el sétimo).
- Costillas falsas: Unión indirecta, es decir, se unen a un cartílago costal en común que se conecta directamente al esternón (del octavo par hasta el décimo).
- Costillas flotantes: No tienen unión alguna (últimos dos pares).

Vértebras torácicas: Son 12 vértebras (*fig. 1.11*) las que conforman a este conjunto, su cuerpo se define por 7 rasgos (como las vértebras cervicales): pedículos, láminas, agujero vertebral, apófisis transversas, apófisis espinosa, apófisis articulares y apófisis unciforme. Una de las características de estas vértebras son sus articulaciones costales, pues en ellas se unen los pares de costillas y a diferencia de las vértebras cervicales, las torácicas son más grandes y fuertes, pues el peso que soportan es mayor (Tortora & Derrickson, 2015).

¹³ Cartílago. Tejido conectivo encontrado en las articulaciones de algunas partes del cuerpo, tal y como lo es entre los huesos de la caja torácica (Serrano, Kenhub, 2023).

Articulaciones, ligamentos y movimientos del tórax

El tórax cuenta con diferentes articulaciones que le permiten movimiento en zonas específicas, por ello de acuerdo con García-Porrero Pérez y Hurlé González (2020), y Latarjet y Ruiz Liard (2012), se pueden clasificar en 2 grupos: articulaciones entre las costillas y las vértebras, y las articulaciones de los cartílagos costales con las costillas y el esternón.

- Articulaciones entre las costillas y las vértebras: En estas articulaciones la cabeza de cada costilla se articula con el costado de su vértebra correspondiente, algunos de los ligamentos que refuerzan estas uniones son el ligamento intraarticular, radiado de la cabeza de la costilla, costotransversario, entre otros (*fig. 1.15*).
- Articulaciones de los cartílagos costales: Articulaciones que directa o indirectamente unen las costillas y el esternón mediante cartílagos costales, del primer par de costillas al séptimo su unión es directa, ya que se articulan con el esternón en sus bordes laterales (evitando fracturas del esternón y/o costillas), mientras que del octavo par de costillas al décimo su unión es indirecta, debido a que se unen entre sí a través de sus cartílagos, formando uno solo (corresponde al cartílago del séptimo par) que se articula con el esternón, los ligamentos que refuerzan los cartílagos son los radiados (anterior y posterior) y el esternocostal intraarticular.

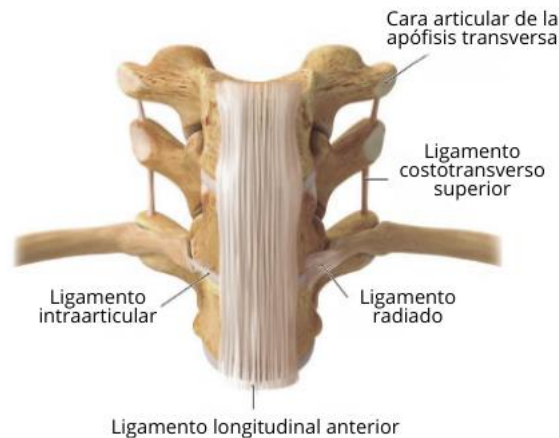


Figura 1.15. *Cara frontal de las vértebras torácicas con algunos ligamentos.* Adaptado de “Anatomía humana”, por García-Porrero J. A., y Hurlé J. M., 2020, Editorial Médica Panamericana, p. 108, © 2020.

Los cuerpos vertebrales torácicos también cuentan con articulaciones (articulaciones de los cuerpos vertebrales y articulaciones de las apófisis articulares), sin embargo, estas ya se mencionaron en el apartado *Articulaciones, ligamentos y movimientos del cuello*.

En conjunto, todas estas articulaciones permiten movimientos respiratorios, aumentando y disminuyendo el volumen del tórax en la inspiración y espiración, aunque el segmento torácico no posee gran movilidad principalmente por las costillas, ya que estas dificultan el desplazamiento de las vértebras torácicas (García-Porrero & Hurlé, 2020).

Músculos del tórax

El tórax cuenta con diferentes músculos, cuya principal función es elevar o descender las costillas durante la respiración (*fig. 1.16*), sin embargo, hay otros conjuntos de músculos que incorporan el esqueleto torácico, como los músculos que conectan el miembro superior al tronco y cuello (véase en *Músculos del miembro superior*), y algunos músculos del cuello (véase en *Tabla 1.3*) cuya inserción superior o inferior se lleva en alguna de las costillas o vértebra torácica, algunos músculos del tórax, son:

- Serrato posterior superior y elevadores de costillas: Elevan las costillas.
- Serrato posterior inferior y transverso del tórax: Descienden las costillas.

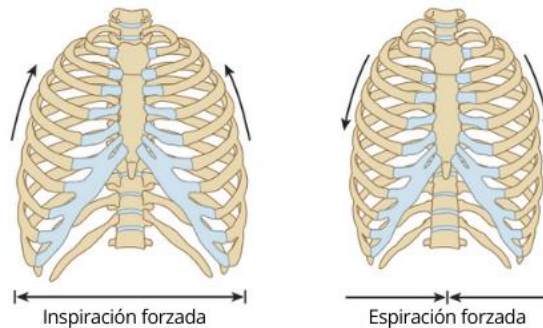


Figura 1.16. *Expansión y compresión del tórax durante la respiración.* Adaptado de “Anatomía con orientación clínica”, por Moore K., Dalley A. y Agur A., 2013, Wolters Kluwer, p.82, © 2013.

1.4 Enfermedades que alteran la motricidad y lesiones

Las diferentes partes del cuerpo que se involucran en los movimientos de los dedos y manos pueden llegar a sufrir alguna alteración, provocando la reducción parcial o total de movimiento ya sea a corto o largo plazo, sin embargo, esto depende del tipo de enfermedad o lesión que se tenga.

Algunas enfermedades que afectan la motricidad fina son las que se mencionan en la *Tabla 1.4*, cabe mencionar que algunas de ellas no solo dañan las manos o el miembro superior, sino otras partes del cuerpo.

Tabla 1.4*Enfermedades que afectan la motricidad fina*

Enfermedad	¿Qué ocurre?	Consecuencias
Osteoporosis	La generación del hueso nuevo es más lenta que la disminución del hueso viejo.	Debilitación de los huesos causando fracturas.
Dedo en gatillo	El dedo permanece atascado en la posición de flexión.	Rigidez en los dedos afectando la capacidad de agarre de la mano.
Artritis reumatoide	El revestimiento de las articulaciones se ve afectado causando hinchazón, principalmente en las articulaciones de las manos.	Deformación de las articulaciones que puede resultar en el desacomodo del hueso.
Síndrome del túnel carpiano	Los movimientos repetitivos de la mano pueden causar presión en uno de los nervios ¹⁴ de la mano (mediano).	Hormigueo, entumecimiento de la mano y de no ser atendido a tiempo pueden causar daño permanente en los músculos.
Lupus	El sistema inmunitario ¹⁵ ataca los tejidos del cuerpo, articulaciones y afecta diferentes sistemas.	Dolor, rigidez articular y posibles fracturas en los huesos.
Osteosarcoma	Tipo de cáncer de hueso el cual inicia en las células de los huesos afectando a huesos del brazo y las piernas.	Debilitación de huesos provocando dolor y fracturas.

Nota: Adaptado de *Mayo Clinic*, por Fundación Mayo para la Educación y la Investigación Médica, © 1998-2024.

Las lesiones que afectan partes del cuerpo involucradas en la motricidad fina pueden ser causadas por heridas de gravedad, golpes fuertes o alguna de las enfermedades mencionadas en la *Tabla 1.4* como la osteoporosis o lupus, así, algunas de las lesiones más comunes se describen en la *Tabla 1.5*.

¹⁴ Nervio. “Conjunto de fibras nerviosas en forma de cordón que conducen impulsos entre el sistema nervioso central y otras partes del cuerpo” (Real Academia Española, definición 1, s.f.).

¹⁵ Sistema inmunitario. “Red compleja de células, tejidos, órganos y las sustancias que estos producen, y que ayudan al cuerpo a combatir infecciones y otras enfermedades” (Instituto Nacional del Cáncer, s.f.).

Tabla 1.5*Lesiones que afectan la motricidad fina*

Lesión	¿Qué ocurre?	Consecuencias
Fractura	Fisura de uno más huesos causada por un golpe fuerte en dicho hueso.	Inmovilización de los huesos por un periodo de tiempo, si no se atiende a tiempo, los huesos se alinean de forma incorrecta y se sufre pérdida de movimiento.
Dislocación	El hueso sale del lugar en el que se articula.	Dolor y pérdida de movimiento en la articulación.
Distensión	Ruptura o estiramiento de los músculos y/o tendones ¹⁶ .	Reposo en el área lesionada, posteriormente fisioterapia para recuperar movilidad.
Esguince	Desgarro o estiramiento de algún ligamento.	Capacidad limitada para mover la articulación, de ser necesario operar, se debe llevar reposo y terapia.

Nota: Adaptado de *Mayo Clinic*, por Fundación Mayo para la Educación y la Investigación Médica, 2023, © 1998-2024 y MedlinePlus, por Biblioteca Nacional de Medicina de EE. UU., 2023, © 2022.

¹⁶ Tendón. “Órgano formado por haces de tejido fibroso, muy resistentes a la tracción, que por lo común unen los músculos a los huesos” (Real Academia Española, definición 1, s.f.).

CAPÍTULO 2. DEFINICIÓN DEL PROYECTO

2.1 Objetivos

Objetivo principal

Rediseño de un dispositivo que ayuda en el desarrollo de las habilidades motrices finas (Accury), con el propósito de facilitar su interacción con el usuario.

Objetivos secundarios

- Rediseño de la parte electrónica del dispositivo Accury.
- Rediseño de la parte mecánica del dispositivo Accury.
- Conservar la relación costo-material que se tiene actualmente con el dispositivo.

2.2 Alcances

Se espera obtener un rediseño del dispositivo Accury con el fin de facilitar el ensamble para los usuarios.

2.3 Hipótesis

El rediseño del dispositivo que ayuda en el desarrollo de las habilidades motrices finas (Accury) está basado en la mejora de su sistema mecánico, obteniendo alteraciones provechosas en su sistema eléctrico, adyacente con su relación costo-material.

2.4 Equipo de trabajo

El proyecto se desarrolló en diferentes fases, en las cuales se integraron diversas personas, a continuación, se encuentran enlistadas por etapas:

Etapas 1: Análisis de componentes por cambiar (Agosto 2022 - Enero 2023).

- I. Arlet Andrea Delgadillo Vera (Estudiante de Ingeniería mecatrónica).
- II. Isaac Espinosa Zariñán (Estudiante de Ingeniería mecatrónica).
- III. M.I. Carolina Castro Alarcón (Estudiante de Doctorado en Ingeniería mecánica y asesor).
- IV. Dr. José Luis Jiménez Corona (Asesor de Medicina).
- V. Dr. Vicente Borja Ramírez (Asesor de Ingeniería mecánica).

Etapas 2: Rediseño de la carcasa (Febrero 2023 - Mayo 2023).

- I. Arlet Andrea Delgadillo Vera (Estudiante de Ingeniería mecatrónica).
- II. Oscar Uriel Cantoral Sánchez (Estudiante de Ingeniería mecánica).
- VI. M.I. Carolina Castro Alarcón (Estudiante de Doctorado en Ingeniería mecánica y asesor).
- III. Dr. José Luis Jiménez Corona (Asesor de Medicina).
- IV. Dr. Vicente Borja Ramírez (Asesor de Ingeniería mecánica).

V. DI. Yesica Escalera Matamoros (Asesora de Diseño industrial).

Etapas 3: Rediseño de la parte electrónica (Junio 2023 - Septiembre 2023).

- I. Arlet Andrea Delgadillo Vera (Estudiante de Ingeniería mecatrónica).
- II. Fernando Alberto Cárdenas Reyes (Estudiante de Ingeniería eléctrica electrónica).
- III. Sadrac Cortés Flores (Estudiante de Ingeniería mecatrónica).
- VII. M.I. Carolina Castro Alarcón (Estudiante de Doctorado en Ingeniería mecánica y asesor).
- IV. Dr. José Luis Jiménez Corona (Asesor de Medicina).
- V. Dr. Vicente Borja Ramírez (Asesor de Ingeniería mecánica).

CAPÍTULO 3. PROCESO DE DISEÑO

3.1 Estado del arte

3.1.1 Marco teórico

El proyecto “Simuladores médicos” nació en 2017 debido a la necesidad de aumentar la parte práctica de los alumnos (segundo año) que cursan la materia “Introducción a la Cirugía” de la Licenciatura “Médico Cirujano” en la UNAM, así, una solución a este problema fue diseñar un simulador que favoreciera el desarrollo de la motricidad fina.

A través de los años este proyecto pasó por diferentes etapas, mediante la aplicación de la metodología “Diseño centrado en el usuario” y diversas iteraciones para mejorarlo se llegó a un dispositivo que hoy se conoce como “Accury”.

El primer dispositivo que se obtuvo fue TexMED (*fig. 3.1-a*), cuyo propósito fue desarrollar habilidades motrices finas emulando ciertos movimientos importantes de las manos para los cirujanos, en este dispositivo se tenía que sacar un poste en movimiento con una mano, la cual sujetaba una herramienta, simulando movimientos que se emplean durante un procedimiento de sutura (Castro Alarcón, 2019).



Figura 3.1. Prototipos. Adaptado de “Diseño, construcción y evaluación de un dispositivo para la mejora de la motricidad fina de estudiantes de medicina”, por Castro A., 2019, Tesis de Maestría, UNAM, pp.56-82.

El segundo dispositivo o bien, el rediseño de TexMED, fue MOFI (*fig. 3.1-b*), el cual era más robusto y contaba con 4 juegos diferentes, el primero era sencillo, consistía en presionar los botones en el orden que se le indicaban, el segundo a diferencia del anterior, además de presionar botones, el usuario tenía que extender o contraer el eje del dispositivo, en el tercer juego se debía hacer lo mismo que en el primero, es decir, presionar los botones, y aumentando su dificultad, dichos botones se debían alinear hasta que emitiera un sonido indicando el siguiente juego, finalmente el cuarto juego era una mezcla de los tres anteriores, porque podía indicar que hiciera cualquiera de las actividades de los juegos 1, 2 o 3.

El tercer y actual dispositivo Accury (*fig. 3.1-c*), a comparación de la versión anterior MOFI, el material de manufactura dejó de ser plástico, ya que adoptó el concepto “Do it yourself” para que el usuario tuviera la posibilidad de construirlo siguiendo una serie de

instrucciones, y cuando alguna parte se dañara, ya fuese electrónica o puramente mecánica, es decir, que algún componente electrónico como un botón, dejara de funcionar o la carcasa tuviera alguna abolladura, la pieza se reemplazara fácilmente.

3.1.2 Productos en el Mercado

Los productos que se encuentran en el mercado y tienen como objetivo mejorar la motricidad fina son principalmente para niños de 1 a 5 años, sin embargo, pueden usarlos personas de diversas edades. Reduciendo la búsqueda de diferentes tipos de juguetes, se llega a su categorización en dos tipos: aquellos en los que el niño debe clasificar formas y los que ayudan a mejorar la precisión de la mano, algunos ejemplos de estos juguetes son los que se encuentran en la *Tabla 3.1*.

Tabla 3.1

Juguetes para niños

Juguete	Descripción
Cubo de formas	Juguete para niños de 2 a 4 años (<i>fig. 3.2-a</i>), cuya finalidad es que el niño coloque bloques con diferentes formas dentro del cubo de madera, así desarrollará la destreza de jugar con ambas manos y su coordinación ojo-mano, así como distinguir figuras de acuerdo con su forma.
Dear Mia Little Liz, Juguete Didáctico Laberinto de Cuentas de 3 Caminos de Madera	Juguete que estimula el pensamiento del niño, mejora sus habilidades visoespaciales, así como su coordinación y su motricidad fina con ayuda de los 3 laberintos de diferente color, y las figuras que se encuentran dentro de él, cuyo objetivo es que el niño las mueva y llegue cada una a su respectiva meta (<i>fig. 3.2-b</i>).

Nota: Adaptado de *Juguete Cubo de formas*, por Hasbro Gaming, 2023, © 2024 y *Juguete Laberinto de Cuentas de 3 Caminos de Madera*, por Amazon, s.f., © 1996-2024.

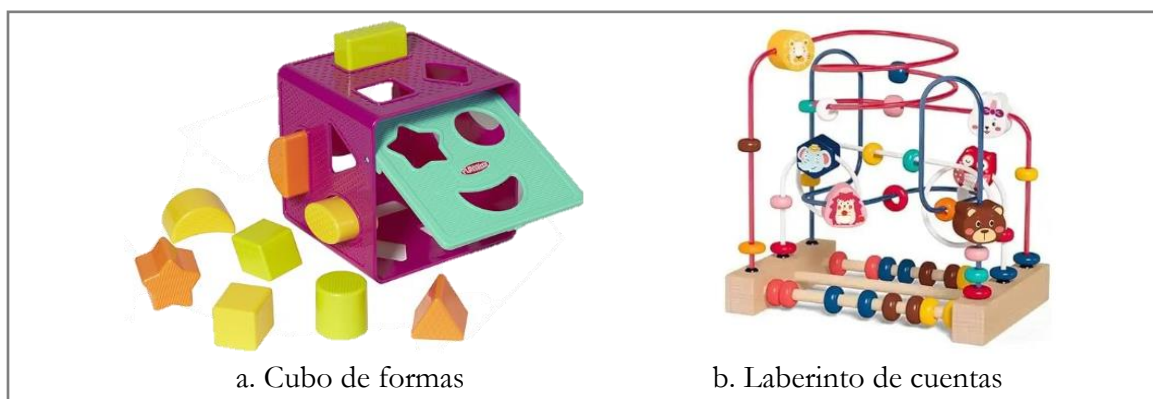


Figura 3.2. *Juguetes cubo de formas y laberinto de cuentas.* Adaptado de “Juguete Cubo de formas”, por Hasbro Gaming, 2023, © 2024 y “Juguete Laberinto de Cuentas de 3 Caminos de Madera”, por Amazon, s.f., © 1996-2024.

Además de estos productos que son principalmente para niños de 1 a 5 años, también hay juguetes que son para niños con mayor edad, de 5 años en adelante, entre ellos se encuentran los de la *Tabla 3.2*, cuya finalidad también es mejorar la motricidad fina, solo que se emplean piezas más pequeñas para desarrollar precisión en los dedos.

Tabla 3.2

Juguetes para niños de 5+ años

Juguete	Descripción
Operando	Juego donde una persona toma unas pinzas para sujetar una pieza y retirarla del espacio en el que se encuentra sin tocar los bordes o paredes, mejorando la precisión de la mano (<i>fig. 3.3-a</i>).
Perfection	Juego que consiste en colocar piezas con diferente forma en su respectivo lugar, practicando su coordinación ojo-mano contrarreloj (<i>fig. 3.3-b</i>).
Bop it	De acuerdo con Hasbro SHOP, Bop it es un juego que pone a prueba la rapidez, ya que el jugador debe hacer 3 juegos aleatorios de forma rápida y correcta, si no, pierde. Algunos de los movimientos que se deben hacer en estos juegos son estirar y girar; estas dos acciones que se llevan a cabo con rapidez y precisión son importantes para desarrollar habilidades motoras finas (<i>fig. 3.3-c</i>).

Nota: Adaptado de Hasbro, por Hasbro Gaming, 2023, © 2024.

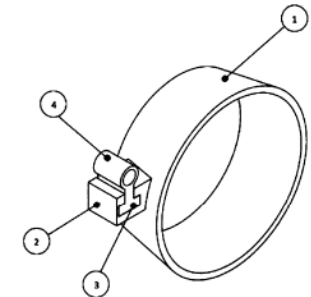


Figura 3.3. Juguetes para niños de 5 años y más – Operando, Perfection y bop it. Adaptado de Hasbro, por Hasbro Gaming, 2023, © 2024.

3.1.3 Patentes

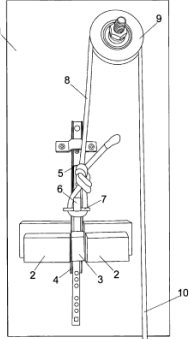
Las invenciones cuyo objetivo es mejorar la motricidad fina se encuentran en las *Tablas 3.3, 3.5, 3.7 y 3.8*; tal y como se verá a continuación, ninguna de ellas se asemeja al dispositivo con el que actualmente se cuenta, Accury; sin embargo, también se encuentran las patentes en las cuales los movimientos de los dispositivos son parcialmente semejantes a presionar botones, tal y como se muestran en las *Tablas 3.4 y 3.6*.

Tabla 3.3

<i>Ficha de patente 1 239 484</i>			
Título	Adaptador ergonómico para la motricidad fina	#Archivo	1
Número de patente	1 239 484	Inventores	Ortego Carrascal, Marina
Año	2020	Propietario	Ortego Carrascal, Marina
Aplicación industrial		Clase/Subclase	A61J 1/00
Resumen	<p>Este adaptador consta de soportes que son fijados a las manos o brazos para facilitar ciertos movimientos con la mano. La parte 4 que nos señala la figura de este adaptador (anillo que va preferentemente en el dedo índice) es para sujetar instrumentos como un lápiz o utensilios de comida, así el usuario moverá fácilmente los dedos, esto es principalmente para personas con enfermedades que obstaculicen su movilidad en las articulaciones de extremidades superiores (como la mano y los dedos).</p>		

		1	2	3	4	5	Observaciones
1. Características	1.1 Número de piezas					x	2
	1.2 Fabricación de piezas				x		Impresión 3D
	1.3 Material					x	Plástico
	1.4 Tipo de conexión					x	
	1.5 Dimensiones					x	Variables
2. Función	2.1 Tipo de sellado					x	No hay
	2.2 Puntos de fijación					x	Hay una unión
	2.3 Fiabilidad					x	
	2.4 Absorción de vibraciones			x			
3. Ensamble	3.1 Facilidad de ensamble					x	
	3.2 Número de operaciones					x	2
	3.3 Número de instrumentos					x	2
	3.4 Tiempo de ensamblaje					x	Unión
4. Mantenimiento	4.1 Facilidad de desmontaje					x	
	4.2 Número de operaciones					x	2
	4.3 Número de instrumentos					x	
	4.4 Tiempo de mantenimiento			x			
	4.5 Facilidad de mantenimiento			x			Nueva fabricación

Tabla 3.4

<i>Ficha de patente 1 285 429</i>			
Título	Dispositivo para la evaluación y recuperación de fuerza de un dedo de la mano		#Archivo 2
Número de patente	1 285 429	Inventores	Alvarez Solaz, Carlos
Año	2022	Propietario	Alvarez Solaz, Carlos
Aplicación industrial		Clase/Subclase	
Resumen	<p>Dicho dispositivo es excelente para la rehabilitación de lesiones de escalada, para entrenamiento de fuerza, pues considera que al usar este instrumento no hay efecto cuadruga, por lo cual no hay riesgo alguno de desgarro del dedo. De forma paralela, este dispositivo como bien dice su nombre evalúa la fuerza, es decir, se le puede colocar un dinamómetro (analógico o digital) para llevar a cabo esta medición.</p>		

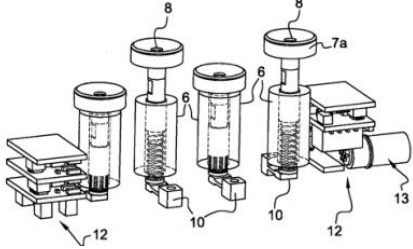
		1	2	3	4	5	Observaciones
1. Características	1.1 Número de piezas					x	9
	1.2 Fabricación de piezas					x	Se pueden comprar
	1.3 Material					x	Variable
	1.4 Tipo de conexión				x		No se describe tanto
	1.5 Dimensiones					x	Variables
2. Función	2.1 Tipo de sellado				x		Tornillos y tuercas
	2.2 Puntos de fijación					x	6
	2.3 Fiabilidad			x			Depende del material
	2.4 Absorción de vibraciones				x		
3. Ensamble	3.1 Facilidad de ensamble				x		
	3.2 Número de operaciones				x		Aproximadamente 11
	3.3 Número de instrumentos					x	
	3.4 Tiempo de ensamblaje					x	
4. Mantenimiento	4.1 Facilidad de desmontaje				x		
	4.2 Número de operaciones				x		Aproximadamente 11
	4.3 Número de instrumentos					x	
	4.4 Tiempo de mantenimiento					x	
	4.5 Facilidad de mantenimiento					x	

Tabla 3.5

<i>Ficha de patente MX 2014014286A</i>			
Título	Sistema robótico para asistencia en terapias de rehabilitación de movimientos de flexoextensión de los dedos de la mano		#Archivo 3
Número de patente	MX 2014014286A	Inventores	Castillo Castañeda Eduardo; Aguilar Pereyra José Felipe
Año	2016	Propietario	Instituto Politécnico Nacional
Aplicación industrial		Clase/Subclase	
Resumen	<p>Este sistema propone el uso de mecanismo manivela-corredera para la movilización de las articulaciones metacarpofalángicas e interfalángicas distantes y proximales de los dedos largos de la mano, dicho mecanismo contiene 4 barras, las cuales tienen articulaciones de traslación y rotación, como se puede ver en la figura 4, este dispositivo considera solo a 4 dedos (meñique, anular, medio e índice), y posee fuerza de oposición graduable (por contrapeso).</p>		

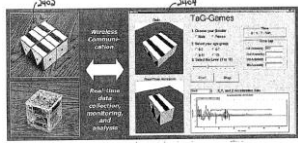
		1	2	3	4	5	Observaciones
1. Características	1.1 Número de piezas			x			Más de 20, menos de 30
	1.2 Fabricación de piezas				x		
	1.3 Material				x		
	1.4 Tipo de conexión					x	Eslabones fijos
	1.5 Dimensiones			x			Precisas
2. Función	2.1 Tipo de sellado				x		
	2.2 Puntos de fijación				x		Son muchos
	2.3 Fiabilidad				x		
	2.4 Absorción de vibraciones			x			
3. Ensamble	3.1 Facilidad de ensamble			x			No es fácil
	3.2 Número de operaciones			x			
	3.3 Número de instrumentos				x		
	3.4 Tiempo de ensamblaje			x			Son muchas piezas
4. Mantenimiento	4.1 Facilidad de desmontaje			x			No es fácil
	4.2 Número de operaciones			x			
	4.3 Número de instrumentos				x		
	4.4 Tiempo de mantenimiento			x			
	4.5 Facilidad de mantenimiento			x			

Tabla 3.6

<i>Ficha de patente EP 2659835</i>			
Título	Dispositivo para cuantificar la independencia de los dedos		#Archivo 4
Número de patente	EP 2659835	Inventores	Boucher, Mathieu; Maier, Marc y Lindberg, Pavel
Año	2015	Propietario	Universidad Descartes de París
Aplicación industrial		Clase/Subclase	
Resumen	El dispositivo mencionado permite la medición del movimiento de los dedos excluyendo uno, el pulgar, por ello cuenta con 4 pistones que son empujados con los dedos de forma vertical (hacia abajo) para que le comuniquen información a los captadores de fuerza, además se puede adaptar al tamaño de la palma de la mano.		

		1	2	3	4	5	Observaciones
1. Características	1.1 Número de piezas					x	Más de 20
	1.2 Fabricación de piezas					x	
	1.3 Material				x		
	1.4 Tipo de conexión					x	
	1.5 Dimensiones					x	Se adaptan a cualquier dedo
2. Función	2.1 Tipo de sellado				x		Uniones con tornillos
	2.2 Puntos de fijación					x	
	2.3 Fiabilidad					x	Tiene resortes
	2.4 Absorción de vibraciones				x		
3. Ensamble	3.1 Facilidad de ensamble				x		Tiene varios resortes
	3.2 Número de operaciones				x		
	3.3 Número de instrumentos					x	
	3.4 Tiempo de ensamblaje				x		
4. Mantenimiento	4.1 Facilidad de desmontaje				x		
	4.2 Número de operaciones				x		
	4.3 Número de instrumentos					x	
	4.4 Tiempo de mantenimiento				x		
	4.5 Facilidad de mantenimiento					x	

Tabla 3.7

<i>Ficha de patente US 20120258436A1</i>			
Título	Automated assessment of cognitive, fine-motor, and memory skills (Evaluación automatizada de las habilidades cognitivas, motoras finas y de memoria)	#Archivo	5
Número de patente	US 20120258436A1	Inventores	Kiju Lee
Año	2012	Propietario	Case Western Reserve University
Aplicación industrial		Clase/Subclase	434/362
Resumen	La evaluación consta de diferentes juegos con sensores integrados, de modo que se logre observar en una gráfica la interacción persona-juego, además esta gráfica está incluida en una aplicación de PC que el usuario descarga para poder jugar y que se le brinden indicaciones.		

		1	2	3	4	5	Observaciones
1. Características	1.1 Número de piezas					x	Más de 20
	1.2 Fabricación de piezas					x	
	1.3 Material					x	
	1.4 Tipo de conexión					x	Conexión interna
	1.5 Dimensiones					x	Varían
2. Función	2.1 Tipo de sellado					x	
	2.2 Puntos de fijación				x		Depende del juguete
	2.3 Fiabilidad				x		
	2.4 Absorción de vibraciones				x		
3. Ensamble	3.1 Facilidad de ensamble				x		
	3.2 Número de operaciones			x			Depende del juguete
	3.3 Número de instrumentos					x	
	3.4 Tiempo de ensamblaje			x			
4. Mantenimiento	4.1 Facilidad de desmontaje			x			
	4.2 Número de operaciones			x			Depende del juguete
	4.3 Número de instrumentos					x	
	4.4 Tiempo de mantenimiento			x			
	4.5 Facilidad de mantenimiento			x			

Tabla 3.8

<i>Ficha de patente US011170664B2</i>			
Título	Kit, método y aparato para simulación quirúrgica y/o entrenamiento de habilidades motoras finas para trabajos quirúrgicos	#Archivo	6
Número de patente	US011170664B2	Inventores	Noel Jabbour, Micah Milad Jabbour, Nathan Nabil Jabbour
Año	2021	Propietario	Noel Jabbour, Micah Milad Jabbour, Nathan Nabil Jabbour
Aplicación industrial		Clase/Subclase	
Resumen	Este kit puede ser configurado en posiciones diferentes, la forma más sencilla para que el usuario observe bien a través de la cámara de su teléfono (el cual se debe de colocar en la parte frontal del aparato) lo que está realizando con sus manos (junto con las herramientas quirúrgicas que incluye el kit) en la parte inferior como se muestra en la figura.		

		1	2	3	4	5	Observaciones
1. Características	1.1 Número de piezas					x	Más de 20
	1.2 Fabricación de piezas				x		
	1.3 Material				x		
	1.4 Tipo de conexión					x	
	1.5 Dimensiones					x	Se adaptan al teléfono
2. Función	2.1 Tipo de sellado					x	Es móvil
	2.2 Puntos de fijación					x	Para sostener el teléfono
	2.3 Fiabilidad					x	
	2.4 Absorción de vibraciones				x		
3. Ensamble	3.1 Facilidad de ensamble					x	
	3.2 Número de operaciones					x	Máximo 5
	3.3 Número de instrumentos					x	Solamente las manos
	3.4 Tiempo de ensamblaje					x	
4. Mantenimiento	4.1 Facilidad de desmontaje					x	
	4.2 Número de operaciones					x	
	4.3 Número de instrumentos					x	
	4.4 Tiempo de mantenimiento				x		
	4.5 Facilidad de mantenimiento					x	

3.1.4 Dimensiones antropométricas de la población Mexicana

Como parte de la investigación se definió que el objetivo del dispositivo sería desarrollar un simulador realista que mejorara la motricidad fina, dado que no solo los estudiantes de medicina podrían hacer uso de este dispositivo, si no cualquier persona que desee o necesite desarrollar esta habilidad, es necesario adaptarlo al usuario para que se sienta cómodo al usarlo y cumpla con su propósito.

Con el fin de llevar a cabo esta adaptación fue necesario tener conocimiento de las dimensiones de las manos, en el libro *Dimensiones antropométricas*¹⁷ de la población latinoamericana por Ávila C. Rosalío, Prado L. Lilia R. y González M. Elvia L. se encuentra un estudio de diferentes medidas de la población mexicana, sin embargo, solo se tomaron las 5 que están indicadas en la *Figura 3.4*; considerando que esta investigación se practicó con personas de diferentes edades y ocupaciones, se realizó la *Tabla 3.9* indicando el promedio de cada medida.

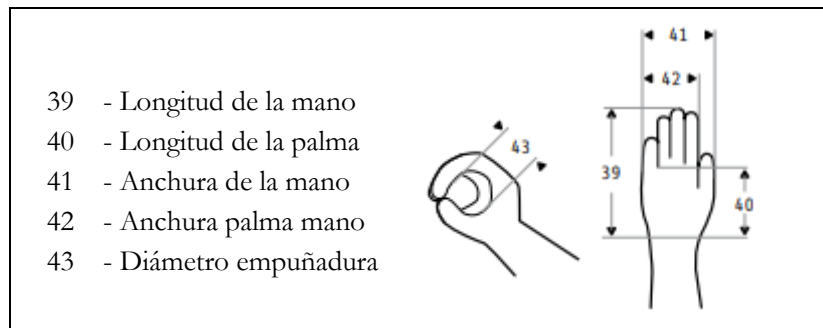


Figura 3.4. Medidas de la mano de la población mexicana. Adaptado de “Dimensiones antropométricas de la población latinoamericana”, por Ávila C., Prado L., y González M., 2007, Universidad de Guadalajara, pp. 85-137, © 2007.

El artículo *Aspectos biométricos de la mano de individuos chilenos* por Binvignat, Almagià, Lizana, y Olave, contiene datos de las 3 primeras medidas mostradas en la *Figura 3.4*, además de incluir la longitud de cada falange, siendo un complemento en las dimensiones necesarias para mejorar el dispositivo, sin embargo, como el estudio se realizó en la población chilena, se elaboró la *Tabla 3.10* donde se indican estas 3 medidas con el objetivo de establecer una comparativa entre la población mexicana y chilena, y concluir si las dimensiones de las falanges son útiles en el rediseño del dispositivo.

¹⁷ Antropometría. “Estudio de las proporciones y medidas del cuerpo humano” (Real Academia Española, definición 1, s.f.)

Tabla 3.9

Medidas antropométricas de las manos en la población mexicana

Zona	Ocupación	Edad	Sexo	Medidas [mm]				
				39	40	41	42	43
Guadalajara	Estudiantes	18	Femenino	169	97	89	74	39
			Masculino	187	106	103	85	44
		19-24	Femenino	169	95	89	73	39
			Masculino	186	105	103	85	43
CDMX	Operadores de autotransporte	18-68	Masculino	180.82	-	97.4	82.7	35.75
Guanajuato	Industria de calzado	17-39	Masculino	181	103.2	97.8	84.4	38.7
Promedios		18-49	Femenino	169.0	96.0	89.0	73.5	39.0
			Masculino	183.7	104.7	100.3	84.3	40.4
			Total	178.8	101.2	96.5	80.7	39.9

Nota: Adaptado de “Dimensiones antropométricas de la población latinoamericana”, por Ávila Chaurand, Prado León, y González Muñoz, 2007, Universidad de Guadalajara, pp. 85-137, © 2007.

Tabla 3.10

Medidas antropométricas de las manos en la población chilena mm

Edades	Mujeres			Hombres		
	39	40	41	39	40	41
18-19	167.5	93	81.5	182.5	102.5	94.5
20-24	169.5	95	77.5	187	104.5	91.5
25-29	171	91.5	80.5	188	107	91
30-34	169	96	81	184.5	105	89
35-39	172	95	79	183.5	105	96.5
40-44	169.5	96.5	79.5	184	106	88.5
45-49	165.5	95.5	78	183.5	104	90
50-54	170	97.5	80	187	108	89.5
55-59	166	90	77.5	186.5	105.5	91.5
Promedio	168.89	94.44	79.39	185.17	105.28	91.33

Nota: Adaptado de “Aspectos Biométricos de la Mano de Individuos Chilenos”, por Binignat, Almagià, Lizana y Olave, 2012, *International Journal of Morphology*, 30, pp. 599-606.

La *Figura 3.5* presenta la comparación entre las dos poblaciones ya mencionadas, demostrando que las medidas antropométricas de la mano en mujeres y hombres, tanto mexicanos como chilenos son muy próximas, por lo que los datos sobre las falanges del artículo *Aspectos biométricos de la mano de individuos chilenos* son útiles para el nuevo diseño.

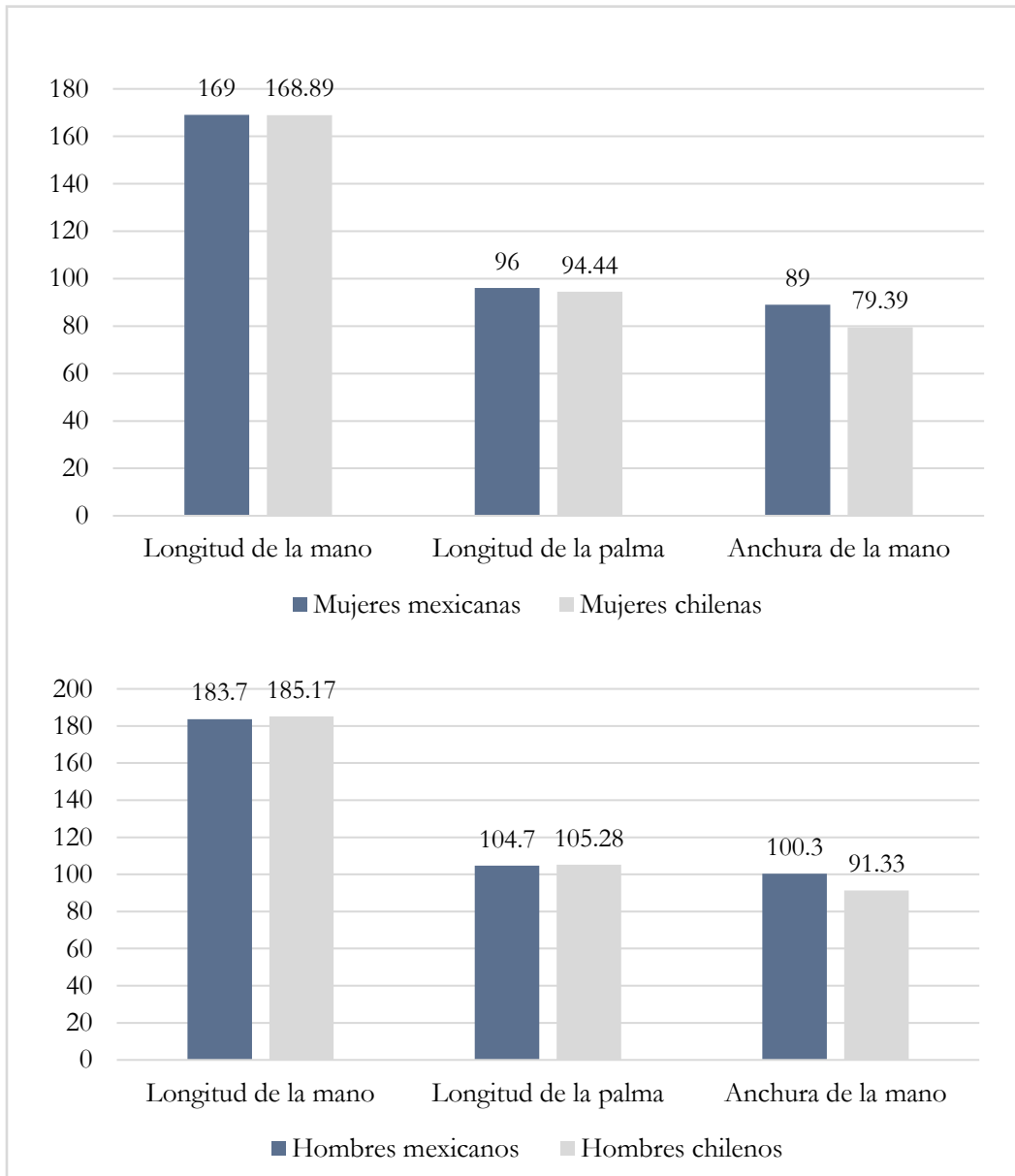


Figura 3.5. Medidas de la mano en la población mexicana y chilena en mm. La diferencia de las dimensiones “longitud de la mano” y “longitud de la palma” entre la población mexicana y chilena es mínima, mientras que la dimensión de la anchura de la mano presenta una diferencia considerable de 9 a 10 mm tanto en mujeres como en hombres.

A continuación, las *Tablas 3.11, 3.12, 3.13, 3.14, 3.15, 3.16, 3.17, 3.18 y 3.19* indican las medidas antropométricas de las diferentes falanges de los dedos: pulgar, índice, medio, anular y meñique, respectivamente.

Tabla 3.11

Medidas antropométricas del dedo pulgar en mm

Edades	Mujeres						Hombres					
	Falange proximal			Falange distal			Falange proximal			Falange distal		
	Mín	Prom	Máx	Mín	Prom	Máx	Mín	Prom	Máx	Mín	Prom	Máx.
18-19	28	36.5	45	24.5	28.5	32.5	34	41	48	28	32	35.5
20-24	30	36.5	43	24.5	28.5	32.5	34	40	46	29	32	35.5
25-29	31.5	37.5	43.5	26	29	32	35	42	49	29.5	34	38.5
30-24	24.5	32	39.5	21.5	26.5	31.5	32.5	41	49.5	26.5	31.5	36.5
35-39	30	36.5	43	22.5	27	31.5	30.5	38.5	46.5	27	31.5	36
40-44	29.5	35.5	41.5	25	28	31	29.5	40	50.5	23	31.5	40
45-49	28.5	35.5	42.5	23	27.5	32	38.5	43.5	48.5	29	32.5	33
50-54	28.5	35	41.5	23.5	28.5	33.5	33.5	40.5	47.5	28	32	36
55-59	26	33	40	24	28	32	28	39.5	51	29	33	37
Promedio	28.5	35.3	42.2	23.8	27.9	32.1	32.8	40.7	48.5	27.7	32.2	36.4

Nota: Adaptado de “Aspectos Biométricos de la Mano de Individuos Chilenos”, por Binivignat, Almagià, Lizana y Olave, 2012, *International Journal of Morphology*, 30, pp. 599-606.

Tabla 3.12

Medidas antropométricas del dedo índice en mm (Mujeres)

Edades	Falange proximal			Falange media			Falange distal		
	Mín	Prom	Máx	Mín	Prom	Máx	Mín	Prom	Máx
18-19	31.5	43.5	55.5	21	27.5	34	19	22	25
20-24	34	45	56	22	28	34	19	22	25
25-29	35	46	57	23.5	29	34.5	21	23	25
30-24	21	35.5	50	16.5	23.5	30.5	16	20	24
35-39	33	44	55	22	28.5	35	17	21	25
40-44	35	45.5	56	19.5	25.5	31.5	19.5	22	23.5
45-49	35	45	55	22	28	34	19	22.5	25
50-54	29.5	42.5	55.5	21	27	33	20	22	25
55-59	24.5	38.5	52.5	17	24.5	32	18	22	26
Promedio	30.9	42.8	54.7	20.5	26.8	33.2	18.7	21.8	24.8

Nota: Adaptado de “Aspectos Biométricos de la Mano de Individuos Chilenos”, por Binivignat, Almagià, Lizana y Olave, 2012, *International Journal of Morphology*, 30, pp. 599-606.

Tabla 3.13

Medidas antropométricas del dedo índice en mm (Hombres)

Edades	Falange proximal			Falange media			Falange distal		
	Mín	Prom	Máx	Mín	Prom	Máx	Mín	Prom	Máx
18-19	39.5	51	62.5	26	31.5	37	20.5	24	27.5
20-24	38	50	62	25	31	37	21	24	27
25-29	37.5	50.5	63.5	24	31	38	21.5	25	28.5
30-24	38	49.5	61	25.5	32	38.5	20	24	28
35-39	31	43.5	56	23	29.5	36	22	24.5	27
40-44	35	50	65	21.5	30.5	39.5	18	24	30
45-49	40	51.5	63	25	32	39	21.5	24.5	27.5
50-54	40	51	62	25	31	37	21	24	27
55-59	32	47.5	63	21.5	30	38.5	22	25	28
Promedio	36.8	49.4	62.0	24.1	30.9	37.8	20.8	24.3	27.8

Nota: Adaptado de “Aspectos Biométricos de la Mano de Individuos Chilenos”, por Binivignat, Almagià, Lizana y Olave, 2012, *International Journal of Morphology*, 30, pp. 599-606.

Tabla 3.14

Medidas antropométricas del dedo medio en mm (Mujeres)

Edades	Falange proximal			Falange media			Falange distal		
	Mín	Prom	Máx	Mín	Prom	Máx	Mín	Prom	Máx
18-19	32	46	60	24.5	32	39.5	19	23	27
20-24	35.5	48.5	61.5	26	32	38	19	23	27
25-29	37.5	49.5	61.5	27	32.5	38	21.5	23.5	25.5
30-24	22	38.5	55	20.5	28	35.5	14	23	32
35-39	38.5	50	61.5	25	32	39	19	23	27
40-44	37	48.5	60	25.5	32	38.5	22	24	26
45-49	37	49	61	26.5	32.5	38.5	20.5	23.5	26.5
50-54	31.5	45.5	59.5	24.5	31	37.5	20.5	23.5	26.5
55-59	25	41	57	20	28.5	37	19	23	27
Promedio	32.9	46.3	59.7	24.4	31.2	37.9	19.4	23.3	27.2

Nota: Adaptado de #Aspectos Biométricos de la Mano de Individuos Chilenos”, por Binivignat, Almagià, Lizana y Olave, 2012, *International Journal of Morphology*, 30, pp. 599-606.

Tabla 3.15

Medidas antropométricas del dedo medio en mm (Hombres)

Edades	Falange proximal			Falange media			Falange distal		
	Mín	Prom	Máx	Mín	Prom	Máx	Mín	Prom	Máx
18-19	41.5	54	66.5	29	35	41	21	25	29
20-24	40.5	53.5	66.5	29.5	35.5	41.5	22	25	28
25-29	41.5	55.5	69.5	28.5	36.5	44.5	23	27	31
30-24	40.5	53	65.5	28.5	35.5	42.5	22.5	26.5	30.5
35-39	32	47	62	25	32.5	40	23	26	29
40-44	39	55	71	23.5	34.5	45.5	19.5	26	32.5
45-49	44	57	70	29.5	37.5	45.5	23.5	26	28.5
50-54	43.5	56	68.5	29	36	43	22	26	30
55-59	36	52.5	69	26	35.5	45	23	27.5	32
Promedio	39.8	53.7	67.6	27.6	35.4	43.2	22.2	26.1	30.1

Nota: Adaptado de “Aspectos Biométricos de la Mano de Individuos Chilenos”, por Binignat, Almagià, Lizana y Olave, 2012, *International Journal of Morphology*, 30, pp. 599-606.

Tabla 3.16

Medidas antropométricas del dedo anular en mm (Mujeres)

Edades	Falange proximal			Falange media			Falange distal		
	Mín	Prom	Máx	Mín	Prom	Máx	Mín	Prom	Máx
18-19	30.5	43.5	56.5	25	31	37	20	23	26
20-24	33.5	45	56.5	24	30	36	19	23	27
25-29	33	45	57	25	31.5	38	20.5	23	25.5
30-24	19.5	34.5	49.5	17	25	33	17.5	21.5	25.5
35-39	36	46.5	57	23	30	37	18	22	26
40-44	35.5	46	56.5	25	31	37	21.5	24	26.5
45-49	34	45	56	24.5	30.5	36.5	20	23	26
50-54	29.5	42.5	55.5	23.5	30	36.5	20	23	26
55-59	22	37	52	19	27	35	19	23	27
Promedio	30.4	42.8	55.2	22.9	29.6	36.2	19.5	22.8	26.2

Nota: Adaptado de “Aspectos Biométricos de la Mano de Individuos Chilenos”, por Binignat, Almagià, Lizana y Olave, 2012, *International Journal of Morphology*, 30, pp. 599-606.

Tabla 3.17*Medidas antropométricas del dedo anular en mm (Hombres)*

Edades	Falange proximal			Falange media			Falange distal		
	Mín	Prom	Máx	Mín	Prom	Máx	Mín	Prom	Máx
18-19	39	50.5	62	28.5	34	39.5	21	24.5	28
20-24	37.5	50	62.5	28.5	34	39.5	22	25	28
25-29	38	51.5	65	27.5	35	42.5	23	27	31
30-24	37.5	49	60.5	28	34.5	41	22.5	26.5	30.5
35-39	29.5	44	58.5	22.5	30.5	38.5	21	26	31
40-44	32.5	46.5	60.5	23	33	43	18.5	25	31.5
45-49	40	52	64	28.5	36	43.5	22.5	26	29.5
50-54	40	52	64	28	34	40	22	25	28
55-59	32.5	49	65.5	24	33	42	23	26.5	30
Promedio	36.3	49.4	62.5	26.5	33.8	41.1	21.7	25.7	29.7

Nota: Adaptado de “Aspectos Biométricos de la Mano de Individuos Chilenos”, por Binignat, Almagià, Lizana y Olave, 2012, *International Journal of Morphology*, 30, pp. 599-606.

Tabla 3.18*Medidas antropométricas del dedo meñique en mm (Mujeres)*

Edades	Falange proximal			Falange media			Falange distal		
	Mín	Prom	Máx	Mín	Prom	Máx	Mín	Prom	Máx
18-19	25	35.5	46	17.5	22.5	27.5	17.5	20.5	23.5
20-24	26.5	36	45.5	17	22	27	17	20	23
25-29	27.5	37	46.5	19	23	27	18	20	22
30-24	15.5	29	42.5	12.5	19	25.5	16	19	22
35-39	27.5	37	46.5	16.5	22	27.5	16.5	19.5	22.5
40-44	28	37	46	17	22.5	28	17	20	23
45-49	27.5	37	46.5	18.5	23	27.5	17	20	23
50-54	22	33.5	45	15.5	21.5	27.5	17.5	20	22.5
55-59	17	30	43	13	20	27	16	19.5	23
Promedio	24.1	34.7	45.3	16.3	21.7	27.2	16.9	19.8	22.7

Nota: Adaptado de “Aspectos Biométricos de la Mano de Individuos Chilenos”, por Binignat, Almagià, Lizana y Olave, 2012, *International Journal of Morphology*, 30, pp. 599-606.

Tabla 3.19*Medidas antropométricas del dedo meñique en mm (Hombres)*

Edades	Falange proximal			Falange media			Falange distal		
	Mín	Prom	Máy	Mín	Prom	Máy	Mín	Prom	Máy
18-19	31	40	49	20	25	30	19.5	22.5	25.5
20-24	30.5	40.5	50.5	19.5	25	30.5	20	23	26
25-29	30	42	54	20.5	27.5	34.5	21	24	27
30-34	30	40	50	20.5	26	31.5	20	23	26
35-39	17	29.5	42	16.5	23.5	30.5	20	23	26
40-44	24.5	39.5	54.5	19.5	26.5	33.5	16.5	22	27.5
45-49	32.5	43	53.5	21	27	33	19.5	23	26.5
50-54	32.5	42.5	52.5	20.5	25.5	30.5	19	22	25
55-59	25	38.5	52	17.5	25	32.5	20	23.5	27
Promedio	28.1	39.5	50.9	19.5	25.7	31.8	19.5	22.9	26.3

Nota: Adaptado de “Aspectos Biométricos de la Mano de Individuos Chilenos”, por Binvignat, Almagià, Lizana y Olave, 2012, *International Journal of Morphology*, 30, pp. 599-606.

CAPÍTULO 4. NUEVO DISEÑO

4.1 Necesidades y especificaciones

A lo largo de la investigación, mediante diferentes pruebas realizadas con estudiantes de medicina (*fig. 4.1*), se observaron diversos puntos a mejorar en el dispositivo, con ello se plantearon nuevas necesidades y especificaciones para el siguiente diseño.



Figura 4.1. *Ensamble de Accury.* Adaptado de “Diseño, construcción y evaluación de un dispositivo para la mejora de la motricidad fina de estudiantes de medicina”, por Castro A., 2019, Tesis de Maestría, UNAM, p. 89.

Necesidades:

- El diseño debe ser amigable, de modo que el usuario pueda elaborarlo por sí solo.
- Mejor manejo de los botones para el usuario.
- Mejorar los puntos que se desgastan fácilmente en el ensamble del dispositivo.
- Mejorar el diseño interno para el manejo del cableado.
- Reducir la cantidad de cables que contiene la parte electrónica.

Especificaciones:

- Material de manufactura: Cartón o papel.
- Costo del material: Menor o igual a \$63 un pliego de 76x102 cm.
- Manufactura: Corte láser.
- Costo de manufactura: Menor o igual a \$240.
- Dimensiones: Largo menor o igual al de una mesa mayo (60x40cm).
- Proceso de ensamble: Disminuir el tiempo y la cantidad de piezas.
- Electrónica: Simplificar la conexión led-botón, reduciendo las uniones de cables.
- Programación: Mejorar la conexión de la Raspberry con la aplicación móvil.
- Movimiento de desplazamiento: Dos desplazamientos mayores a 20 mm con una separación mínima de 10 mm entre cada uno (el rango de medición del sensor ultrasónico es de 20 a 400 mm).
- Movimiento de rotación: Ángulo máximo de 90° con la mano izquierda.

4.2 MedingToy

Accury es un dispositivo que se diseñó hace más de 5 años; dado que es un invento se debe actualizar para que cada vez sea más novedoso, mediante las diferentes necesidades de los usuarios se plantearon nuevas especificaciones, así se determinó que Accury necesitaba un rediseño, por ello tomando las partes más importantes de este diseño y las necesidades de los alumnos de la Facultad de Medicina, nació un nuevo diseño, “MedingToy”.

Este apartado se divide en 3 secciones importantes, el diseño mecánico, electrónico y software; el primer apartado abarca todo el diseño de la estructura, mientras que los otros dos, tal y como sus nombres lo indican, engloban los componentes electrónicos que complementan el diseño, así como el software.

4.2.1 Diseño mecánico

El diseño mecánico es la parte principal de esta tesis, por ello la sección se subdivide en 3 partes, el diseño de sujeción (las piezas del dispositivo donde el usuario debe sujetarlo), el diseño del cuerpo y finalmente uniendo los dos diseños anteriores, el diseño integrado.

4.2.1.1 Diseño de sujeción

La sujeción es una parte importante de MedingToy, ya que en esta zona el usuario colocará sus manos para sostener el dispositivo mientras interactúa con él, así que no debe flexionarse y/o sufrir rupturas, además necesita tener suficiente espacio para permitirle a los dedos presionar correctamente botones, así como realizar los movimientos de flexión y extensión de las articulaciones interfalángicas.

a. Prototipos de función crítica de sujeción

Un prototipo es “una aproximación al producto en una o más dimensiones de interés” (Ulrich & Eppinger, 2013), mientras que un prototipo de función crítica es aquel que se construye de forma rápida y sencilla para invertir el mínimo de recursos, y entender en 3 dimensiones como se ve el diseño a grandes rasgos.

Durante el diseño de los prototipos de función crítica de sujeción, se tomó en cuenta la geometría de diferentes dispositivos ya existentes, cuyo uso tiene como característica principal el movimiento de la mano o de algunos dedos, como lo son:

- Mouse ergonómico¹⁸. De acuerdo con Logitech ©, la postura de la mano al interactuar con el mouse es mejor, porque el brazo, la palma y los dedos se encuentran en una posición de reposo, más cómoda para el usuario (*fig. 4.2*).
- Control de Xbox de Microsoft ©. La forma en la que le permite al usuario sujetarlo firmemente para pasar horas jugando es muy ergonómica, pues la postura de la mano es diferente a la que se tiene con otros controles de videojuegos, además se adapta al tamaño de la mano (Tuttle Will, 2020).

¹⁸ Ergonómico, ca. “Dicho de un utensilio, de un mueble o de una máquina: Adaptados a las condiciones fisiológicas del usuario” (Real Academia Española, definición 2, s.f.).



Figura 4.2. Mouse ergonómico. Adaptado de “¿Me conviene más un mouse ergonómico?”, por Logitech, s.f., © 2024.

Comparando los dos dispositivos anteriores con la forma de sujeción de Accury, la principal diferencia es la posición de los dedos, como se ilustra en la *Figura 4.2*, al tomar el mouse estos permanecen extendidos en su posición de descanso o natural, evitando la presión en la muñeca, en el caso de un control de Xbox de Microsoft ©, su diseño con curvas tiene como objetivo ajustarse a la forma de la mano y brindarle mayor comodidad al usuario (García Rodríguez, s.f.).

Si se observa la sujeción de Accury en la *Figura 4.3*, entre las falanges proximal y media se forma un ángulo aproximadamente mayor a 30° (dependiendo del tamaño de la mano), asimismo cuando las manos de las personas son más pequeñas, necesitan extender los dedos, aumentando el ángulo entre las falanges ya mencionadas, así como el diámetro de empuñadura para permitir el alcance de los botones.



Figura 4.3. Posición de las manos con Accury. Elaboración propia.

Como se ilustra en la *Figura 4.3*, esta posición de las manos permanecerá durante el tiempo que el usuario interactúe con Accury (los dedos se colocan en la orilla del cartón y cuando se debe presionar un botón el dedo correspondiente se posiciona encima), el único cambio de postura es cuando se debe jalar del extremo izquierdo, pues ahí los dedos deben posicionarse detrás de los botones, en la base blanca (borde del dispositivo).

De las 3 posturas que se adoptan al sujetar los dispositivos antes mencionados (mouse, control y Accury), la más cómoda es la primera (mouse ergonómico), por dos razones: tiene más semejanza a la posición de reposo o descanso de la mano (*fig. 4.4*) y permite mayor movimiento con los dedos, dado que el usuario puede pasar horas usando el mouse sin tener molestias directamente relacionadas con la posición que adopta la mano.



Figura 4.4. Posición de descanso de la mano. Adaptado de “Anatomía con orientación clínica”, por Moore K., Dalley A. y Agur A., 2013, Wolters Kluwer, p. 772, © 2013.

Conjuntando todas las características de cada dispositivo, así como las necesidades y especificaciones de su geometría, se crearon cuatro prototipos de función crítica diferentes (de cartón) para la sección de la empuñadura o agarre: en dos de ellos se tomó en cuenta la forma actual de Accury (*fig. 4.5-a y 4.5-c*) y para el resto (*fig. 4.5-b y 4.5-d*) se consideraron los diseños del mouse ergonómico y el control para Xbox de Microsoft ©.



Figura 4.5. Prototipos para el diseño de sujeción. FCS = Función crítica de sujeción. Elaboración propia.

b. Pruebas

Se les pidió a 8 usuarios interactuar con cada prototipo (*fig. 4.6*) para elaborar un análisis y definir la mejor opción: un reemplazo completo o parcial del diseño de sujeción actual de Accury (*fig. 4.3*); asimismo, se les hizo una serie de preguntas cortas:

- ¿Qué te pareció la forma?
- ¿Qué piensas sobre la posible ubicación de los botones?
- ¿Qué opinas de forma general sobre estos prototipos?

Es importante destacar que cada prototipo tenía sus ventajas y desventajas (en manufactura o ensamble) de acuerdo con los movimientos que debían realizar los extremos del dispositivo cuando el usuario interactuara con el, por ello para el análisis además de la opinión de los usuarios se consideraron los siguientes puntos:

- La homogeneidad del material, es decir, si solo se usará cartón o el prototipo requiere de otra clase de material.
- El espacio interno para colocar los botones.
- La accesibilidad para conseguir el material.
- La facilidad de ensamble.

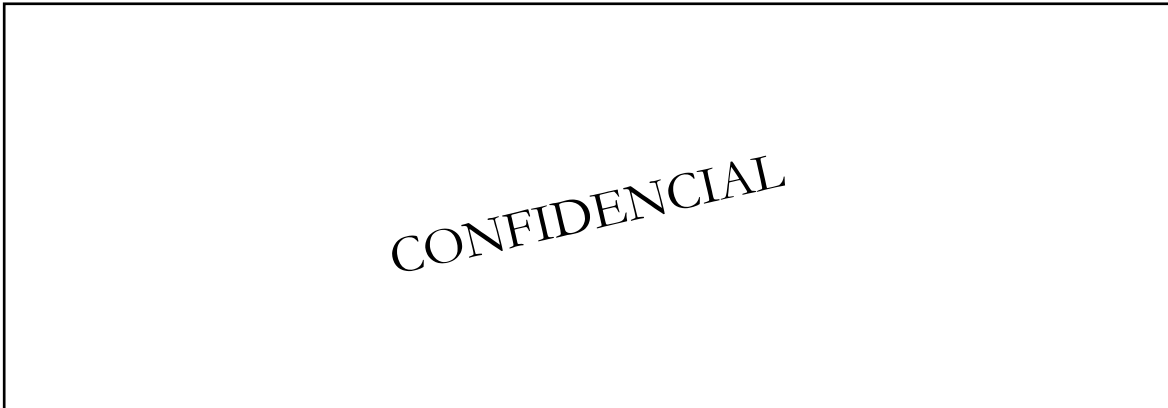


Figura 4.6. Pruebas para el diseño de sujeción. Elaboración propia.

c. Análisis

En este análisis se decidió elaborar una tabla (*Tabla 4.1. Alternativas de solución*) que considerara a detalle los aspectos más importantes de cada prototipo de función crítica de sujeción (FCS), por ello se dividió en dos secciones:

- Ventajas o desventajas: Contiene 4 características principales (carcasa, material, espacio para botones, ensamble y manufactura) que se considerarán más adelante para saber qué prototipo es más adecuado para la sujeción.
- Usuario: En esta sección encuentran las observaciones más recurrentes que realizaron los usuarios durante la serie de preguntas.

Tabla 4.1

Alternativas de solución

Prototipo		FCS 1	FCS 2	FCS 3	FCS 4
Ventajas/ desventajas de los prototipos	Carcasa	Geometría parecida a la que actualmente tiene el dispositivo.	La carcasa externa funciona para evitar caídas.	El soporte interno evita la flexión de cada cara cuando el usuario ejerza fuerza sobre los botones.	Del lado donde se coloca el dedo índice es más amplio que donde va el dedo meñique.
	Material	No es homogéneo.	La carcasa requiere más material.	Es homogéneo.	Es homogéneo.
	Espacio para botones	La esfera de unícel obstruye el lugar de los botones.	No hay suficiente espacio interno para los botones y sus conexiones.	El soporte obstruye el paso de los cables.	Hay suficiente espacio para colocar los botones.
	Construcción o ensamble	Al ensamblar la esfera de unícel se debe cuidar el tipo de pegamento.	El ensamble puede tener dificultades por las inclinaciones que tiene la pieza interna.	Debido al conjunto de piezas que conforman el soporte, podría causar dificultades.	Por los ángulos de inclinación, se puede elaborar una o diferentes piezas.
	Manufactura	Los materiales se pueden conseguir fácilmente.	El tipo de cartón debe ser capaz de flexionarse lo suficiente para formar los ángulos.	La manufactura de la pieza con forma de cilindro hueco interno depende del material.	La manufactura depende de cómo se desee ensamblar, si es una sola pieza o se requiere fragmentar.
Usuario	Observaciones	<ul style="list-style-type: none"> ○ La orientación en la que se toma es incorrecta. ○ La esfera de unícel es grande para el tamaño de la mano. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Los dedos chocan con la carcasa externa cuando se flexionan. ○ La carcasa da seguridad para que no se caiga, pero puede ser más amplia. ○ El mango es cómodo. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ No se sabe con exactitud cuál es la orientación. ○ La posición de la mano es incómoda, por la separación de los dedos. ○ La flexión de los dedos al tomarlo es incómoda. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ El diámetro de empuñadura de la mano es grande. ○ Podría tener una carcasa como el primer dispositivo. ○ Los botones tienen buena distancia, menos el pulgar.

Nota. La tabla cuenta con puntos de vista importantes del usuario y del diseñador, combinando ambas perspectivas.

Conforme a las diferentes observaciones expresadas por los usuarios, así como las ventajas y desventajas de cada prototipo plasmadas en la *Tabla 4.1* y los resultados obtenidos en una matriz de decisión (*tabla 4.2*) la conclusión fue; el mango es sustituible por la forma del prototipo FCS 2 o FCS 4, dado que su geometría es muy parecida y la posición es cómoda.

Tabla 4.2

Matriz de decisión para las empuñaduras

Prototipo	FCS 1	FCS 2	FCS 3	FCS 4
Material homogéneo	0	1	1	1
Espacio interno para botones	0	0	0	1
Ensamble sencillo	1	0	0	0
Comodidad en el mango	0	1	0	1
Buen espacio externo entre botones	1	1	1	1
Se entiende la orientación	0	1	0	1
Puntuación	2	4	2	5

Eliminando la carcasa externa del prototipo FCS 2 y reduciendo el tamaño del prototipo FCS 4, se llegó a un diseño final, el prototipo de función crítica de sujeción 5 (*Anexo A- fig. A1, A2 y A3*) en el cual (*fig. 4.7-a*) se consideró lo siguiente:

- Una pendiente para ajustarse al empuñe de la mano, similar a la que posee un control de Xbox de Microsoft ©.
- Los botones que se utilizaron en este diseño fueron seleccionados previamente en la investigación de doctorado *Investigación con un enfoque Neurodesign para validar un dispositivo para la mejora de la motricidad fina* de Castro C., mediante la aplicación de una técnica para la toma de decisiones como se menciona en el artículo *Rumbo a la sección de parámetros de diseño identificando emociones* de Castro C., Borja V., Ramírez A. y Jiménez J. (2022).
- Un soporte en la cabeza de los botones para brindarle sostén a la estructura, evitando su flexión en la parte superior (*fig. 4.7-b*).
- Espacio para un segundo soporte en parte inferior de los botones, cuyo objetivo fue el mismo que el del primer soporte, solo que la flexión en este caso se evita en la zona inferior.

- Un diámetro de empuñadura específico (40 mm), basado en el promedio obtenido de la *Tabla 3.9. Medidas antropométricas de las manos en la población mexicana*.
- Cinco pliegues (con medidas aproximadas), volviendo su forma lo más parecida a un cilindro, incrementando la comodidad (*Anexo A - fig. A1*).
- Variación en la distancia de ubicación de los botones, debido a que cada dedo tiene una longitud diferente (*Anexo A - fig. A2 y A3*).
- Espacio interno para el ensamble de los botones.

Concretada esta geometría, comenzó la siguiente etapa, el diseño para el cuerpo del dispositivo.

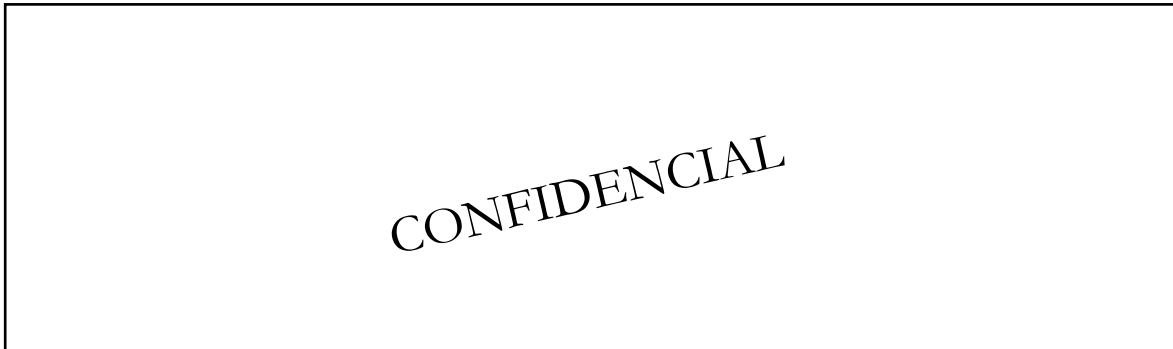


Figura 4.7. Prototipo de función crítica de sujeción 5 o FCS 5. Elaboración propia.

4.2.1.2 Diseño del cuerpo

El cuerpo es el segundo diseño importante de MedingToy, ya que se deben considerar diferentes aspectos como: el ensamble correcto con el prototipo de función crítica de sujeción, la suficiente libertad de movimiento para que pueda desplazarse y girar sin mayor problema, y finalmente, el espacio suficiente para que el diseño interno se ajuste a los componentes electrónicos que se deben ensamblar.

a. Prototipo de función crítica del cuerpo I

En el diseño de prototipos para el cuerpo de MedingToy se consideraron 4 restricciones:

- El material por emplear (cartón o papel) delimitaba el diseño del cuerpo a un número reducido de formas geométricas.
- El diseño de sujeción de los extremos.
- Una tolerancia para el ensamble del cuerpo y el diseño de sujeción, evitando el choque de dedos con la estructura (similar al prototipo FCS 2).
- La longitud del prototipo FCS 5.

En el primer modelo, el cuerpo geométrico base que se seleccionó fue un prisma cuadrangular debido a que su número de pliegues (4) era suficiente para el espacio que ocupaban las manos, adicionalmente se diseñaron las adaptaciones requeridas para que la estructura de sujeción ensamblara correctamente (agregar una carcasa con suficiente espacio para evitar el

choque de los dedos como en el prototipo FCS 2), además de incorporar un pequeño eje para conectar el extremo izquierdo con el resto del cuerpo, simulando el movimiento de Accury (estirar y girar), así se fabricó el primer prototipo funcional del cuerpo (abreviado FCC 1), tal y como se muestra en la *Figura 4.8*.



Figura 4.8. Prototipo FCC 1. Elaboración propia.

Derivado del ensamble entre el prototipo FCS 5 y la geometría del cuerpo, ya se podía probar su funcionalidad, pues además de incluir un eje para simular movimiento, también se encontraban los botones, permitiéndole al usuario una interacción más real o efectiva al estirar y contraer los dedos a fin de presionar estos botones; así se definieron los puntos por evaluar en las siguientes pruebas, los cuales fueron:

- La geometría: la comodidad y si era agradable.
- El funcionamiento, es decir, si la interacción que el usuario tenía era la adecuada y los movimientos que debía hacer no eran incómodos para la mano, la palma o alguno de los dedos.

b. Pruebas I

Se realizó una encuesta con 20 estudiantes de la Facultad de Medicina de segundo año para validar la geometría actual del cuerpo y la sujeción, así como la comodidad del prototipo y finalmente, observar la interacción del usuario.

Las preguntas fueron:

1. ¿Te agradó la apariencia del dispositivo?
2. ¿Fue cómodo el agarre del dispositivo?
3. ¿Tuviste alguna molestia con tus muñecas al hacer el giro? ¿Cuál?
4. ¿Tuviste alguna molestia con tus muñecas al jalar un extremo del dispositivo?
5. ¿Tus dedos se ajustaron a la distancia a la que se encuentra cada botón? ¿Qué dedo no se ajustó?
6. ¿Alguno de tus dedos chocó con la orilla de la carcasa? ¿Qué dedo chocó?
7. ¿Consideras que el prototipo tiene buen tamaño? ¿Te gustaría que fuese más larga o corta la carcasa?
8. ¿Te gustaría que el dispositivo se trasladara en una caja, con un mango o con una correa?
9. ¿Qué configuración te fue más cómoda?

c. Análisis I

El cuestionario se seccionó en dos partes: la primera para saber su opinión respecto al diseño general y la segunda para saber si la configuración del prototipo era lo suficientemente cómoda; la *Figura 4.9* muestra la primera parte, dónde:

- La pregunta 1 define si el diseño puede seguir avanzando.
- La pregunta 7 forma parte del requerimiento para las dimensiones.
- La pregunta 8 es extra, ya que se quería tomar en cuenta el resguardo del dispositivo durante el traslado si los alumnos tuvieran esta opción.

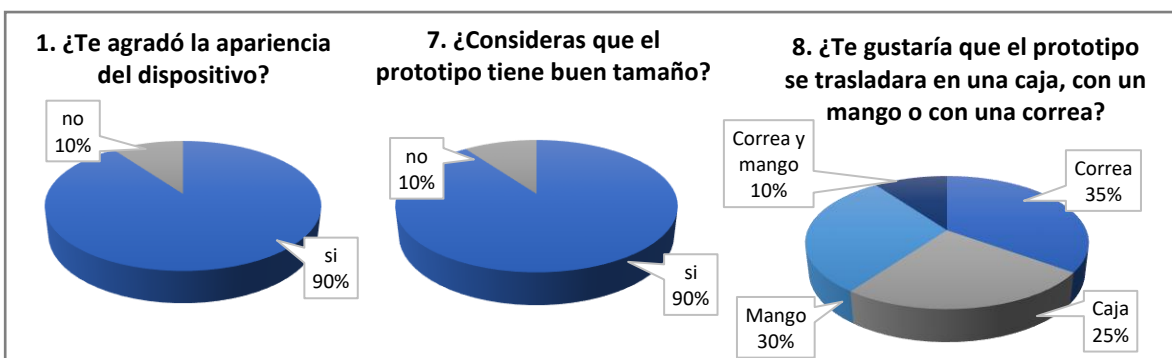


Figura 4.9. Respuestas de la encuesta de validación geométrica – Parte 1. Elaboración propia.

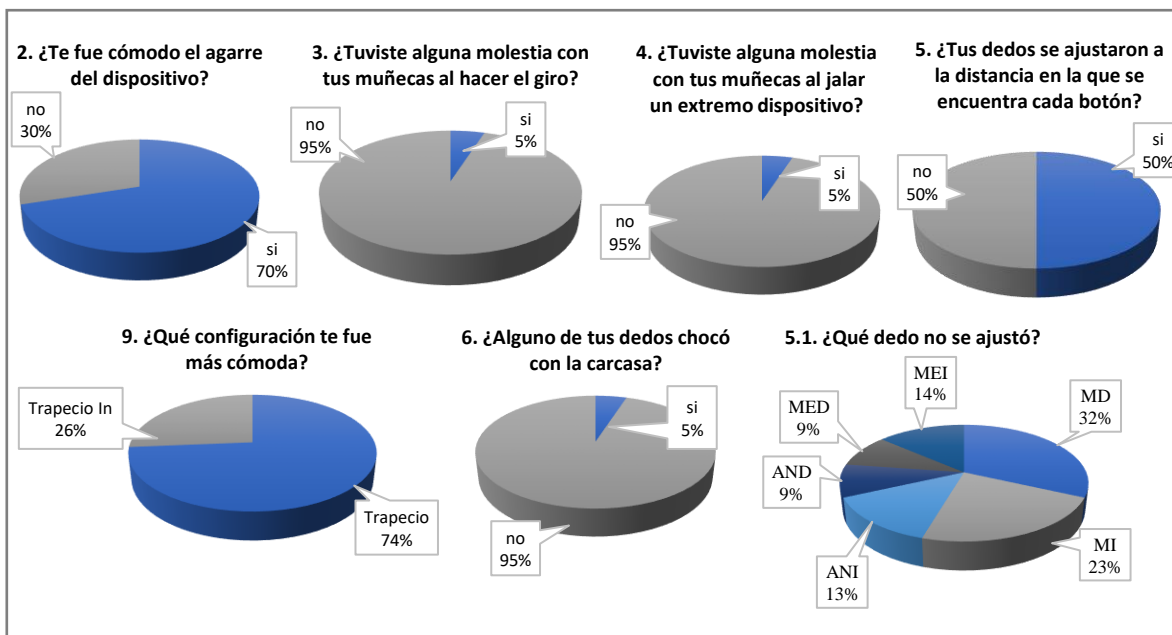


Figura 4.10. Respuestas de la encuesta de validación geométrica – Parte 2. Elaboración propia.

En cuanto a la segunda parte de la encuesta, la *Figura 4.10* indica las diferentes respuestas de los estudiantes, en cuyo caso:

- La segunda pregunta es otra validación para avanzar en el diseño, así como las preguntas 3 y 4, ya que se enfocan en los movimientos del prototipo.
- Las preguntas 5 y 6 validan la distancia en la que se encuentra cada botón, así como la que corresponde a la carcasa.
- La pregunta 9 verifica la orientación del prototipo, es decir, como se observa en la *Figura 4.11* hay dos tipos de orientación, la “Orientación 1” tiene similitud a un trapecio con pendiente positiva del lado izquierdo (mano derecha) y pendiente negativa del lado derecho (mano izquierda), mientras que la “Orientación 2” es lo contrario a la primera, es por ello que se les denominó como Trapecio y Trapecio In, haciendo referencia a su forma.
- La pregunta 5.1 es parte de la 5, como se observa en la gráfica 5 (*fig. 4.10*), la mitad de los entrevistados comentaron que al menos un dedo no se ajustó a la distancia de los botones; los dedos que no se ajustaron como se esperaba fueron: meñique izquierdo (MI), meñique derecho (MD), anular izquierdo (ANI), anular derecho (AND), medio derecho (MED) y medio izquierdo (MEI).

CONFIDENCIAL

Figura 4.11. Orientaciones del prototipo FCC 1. Elaboración propia.

Los resultados de las encuestas determinaron los siguientes puntos:

1. El diseño del dispositivo es aceptado por el usuario.
2. La orientación seleccionada por los usuarios fue “Trapecio”.
3. El prototipo se puede trasladar de cualquier forma, sin embargo, por ahora se tomará la opción de la caja para no obstruir los movimientos del dispositivo.
4. La comodidad del usuario con el dispositivo no se ve afectada por el diseño.
5. La distancia a la que se encuentran los botones debe tomar en cuenta las medidas antropométricas de cada dedo, así como su diferencia entre mujeres y hombres.

Asimismo, un último punto (6) a tomar en cuenta con respecto a la geometría fue la opinión de una diseñadora industrial:

La geometría del cuerpo puede ser más congruente con la geometría de sujeción, es decir, en la primera se tiene un prisma cuadrangular, mientras que la segunda se asemeja más a un prisma de 7 lados, ya que la estructura de sujeción está determinada se puede optar por cambiar el prisma del cuerpo, volviendo el diseño más ergonómico (Escalera M. Yesica, comunicación personal, 2023).

Finalmente, se llegó a la conclusión de elaborar un segundo prototipo funcional considerando las mismas 4 restricciones planteadas en el apartado 2.1. *Prototipo funcional*, así como los puntos 2, 3, 4 y 6 (el punto 5 se retoma en el apartado III. *Diseño integrado*) que se determinaron.

d. Prototipo de función crítica del cuerpo II

El segundo prototipo de función crítica del cuerpo o FCC 2 (*fig. 4.12*) se elaboró de cartón integrando el diseño de sujeción ya establecido, también, para volver consistente el diseño del cuerpo y el de sujeción, el cuerpo geométrico de prisma cuadrangular se convirtió en un prisma octagonal, donde se modificó la carcasa recorriéndola hasta el límite de los botones para evitar el choque de los dedos como en el prototipo FCS 2.

Se diseñó un cuerpo interno (adicional) con la misma forma geométrica que la del cuerpo externo, ocultando el eje, dando mejor apariencia a este nuevo modelo. Los tres puntos principales por analizar en esta segunda iteración fueron:

- La funcionalidad al ejecutar los movimientos predefinidos (estirar y girar).
- La tolerancia entre la orilla de la carcasa y la ubicación aproximada de los dedos para evitar su choque.
- Facilidad de ensamble.



Figura 4.12. *Prototipo FCC 2.* Elaboración propia.

e. Análisis II

En este análisis no se necesitaron pruebas con usuarios, ya que todos los aspectos por validar se corroboraron en la prueba anterior; con base en el criterio de los diseñadores y la interacción con el dispositivo, se analizaron los tres puntos mencionados en el apartado anterior, concluyendo: la funcionalidad de este prototipo es correcta y los dedos no chocan con la orilla de carcasa, por lo cual, la siguiente parte por examinar fue la facilidad de ensamble.

En la *Figura 4.13* se encuentran las piezas que conforman al prototipo FCC 2, sin embargo no todas se encuentran numeradas, ya que algunos son grupos de piezas, tales como el 1, 3, 12, 5, 8 y 9, los tres primeros conjuntos (1, 3 y 12) tienen dos piezas cada uno, mientras que los

demás contienen más de 5 piezas ya que se colocaron pequeños topes (de doble cartón) para ajustar el ensamble de cada soporte y empuñadura, dando un total de 107 piezas.



Figura 4.13. Piezas del prototipo FCC 2. Elaboración propia.

A causa de su gran número de piezas se tomó la decisión de simplificar el ensamble, en vez de ser un conjunto de piezas independientes “pasaría a ser un conjunto de piezas grandes, similar a la plantilla de algún cuerpo geométrico, de esta forma el usuario solo haría pliegues” (Borja R. Vicente, comunicación personal, 2023).

Como siguiente paso, ya que estaban establecidas todas las características, se optó por elaborar un prototipo funcional considerando este último punto del ensamble y todas las mejoras que ya se habían logrado a lo largo del proyecto.

4.2.1.3 Diseño integrado

En este apartado finalmente se integra el diseño de sujeción y el de cuerpo para iniciar la construcción de prototipos funcionales, cuyo propósito será enfocarse en probar los movimientos principales para saber si su funcionalidad es como se espera.

a. Prototipo funcional integrado I

El primer prototipo funcional (abreviado FI 1) que integró todo el diseño (*fig. 4.14*) que se llevaba hasta el prototipo FCC 2 y el material real para MedingToy, fue diseñado con medidas reales, dado que esta fase necesitaba precisión para los cortes y las distancias a las cuales se realizaría cada doblez.

Se empleó el software Fusion 360 © por su función de crear pliegues en chapas; se retomó el punto 5 del análisis correspondiente al apartado 4.2.1.2 *La distancia a la que se encuentran los botones debe tomar en cuenta las medidas antropométricas de cada dedo y su diferencia entre mujeres y hombres*, así como las diferentes características que se mencionan a continuación:

- Integración de piezas para la formación de plantillas.
- Grosor del material.

- Geometrías para el eje de rotación.
- Diámetro del módulo encoder rotativo.
- Medidas del microcontrolador.
- Tipos de cierre de una caja de cartón.



Figura 4.14. Piezas ensambladas del prototipo funcional integrado 1 o FI 1. Elaboración propia.

Inicialmente, en este prototipo el número de piezas se redujo a 7 (3 principales, 2 soportes y 2 ejes), agrupando diferentes conjuntos de piezas (*fig. 4.13*) en una sola plantilla, tal y como se muestra en la *Figura 4.15* con los elementos 1 (unión entre una empuñadura, la estructura derecha y sus respectivos soportes), 4 (integración de la empuñadura y la estructura izquierda, así como sus respectivos soportes) y 5 (agrupación de la estructura central con sus soportes).



Figura 4.15. Piezas sin ensamblar del prototipo FI 1. Elaboración propia.

El material empleado fue ilustración dos caras por su grosor (1.5 mm aproximadamente), ya que los botones no iban a sobresalir como se planeaba con cartón corrugado tipo c (material de construcción para Accury), y se reduciría el espacio interno de los ejes evitando la entrada de los cables para conectar los botones con el microcontrolador.

La idea de diseñar este prototipo con dos ejes cuadrangulares fue principalmente por la posición del encoder rotativo (con la geometría se evita un cambio de material), ya que debía ubicarse en el centro de la pieza 4 (estructura central) para conectarse con la 5 (estructura izquierda) y mantener los movimientos de desplazamiento y rotación del dispositivo, adicionalmente esto facilitó el tope de rotación al no superar su límite de 90°.

Por otro lado, la medida de los lados del prisma octagonal se ajustó de acuerdo con el ancho del microcontrolador, para la parte central o pieza 4 su ancho fue mayor a 30 mm (dentro de esta estructura se colocaría el microcontrolador) y considerando que esta misma pieza se ensamblaría dentro de la 1 (estructura derecha), el ancho de las piezas 5 y 1 fue mayor en comparación con la 4.

En cuanto a las distancias finales para la ubicación de los botones (*Anexo B. Medidas del diseño de sujeción*), con base en las medidas promedio antropométricas de los dedos (*Tablas 3.11, 3.12, 3.13, 3.14, 3.15, 3.16, 3.17, 3.18 y 3.19*) y los resultados de las encuestas de validación geométrica (apartado 4.2.1.2. *Diseño del cuerpo, Análisis*), estas fueron:

- Dedo pulgar: 40 mm.
- Dedo índice: 41 mm.
- Dedo medio: 51 mm.
- Dedo anular: 47 mm.
- Dedo meñique: 45 mm.

Finalmente, el tipo de cierre fue parecido al de una caja con lengüeta reforzada, donde las piezas principales 1 y 5 tendrían 2 pestañas en cada lado plegadas a 90°, de tal modo que se ensamblarían dispuestas horizontalmente una encima de la otra con sus respectivas pestañas acopladas cara a cara, así como se muestra en la *Figura 4.16*.

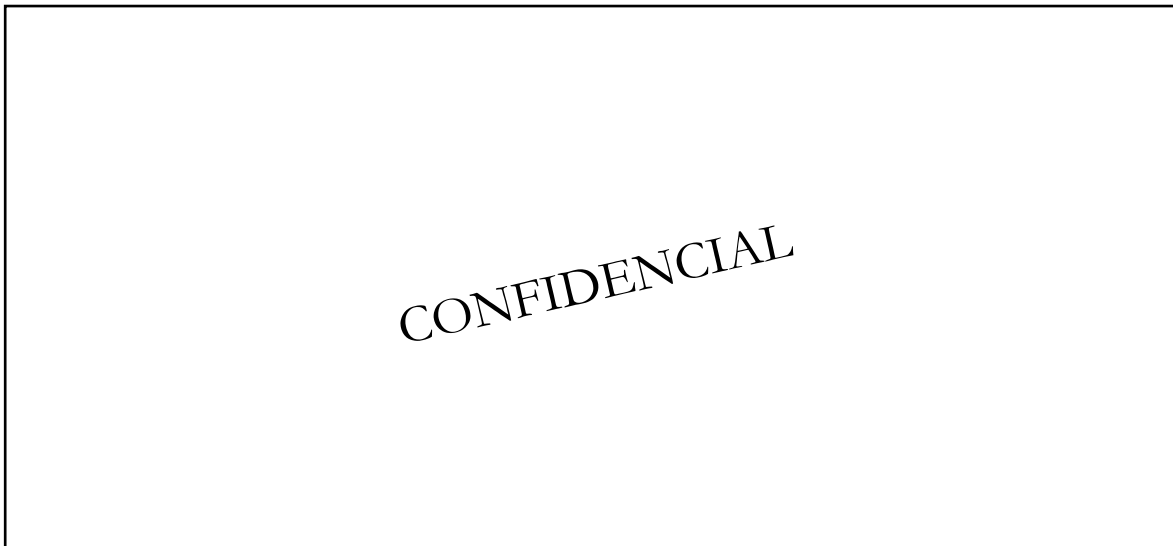


Figura 4.16. Tipo de cierre del prototipo FI 1. Elaboración propia.

b. Pruebas I

Las pruebas para esta fase se enfocaron en la manufactura, ensamble y la correcta funcionalidad de sus 2 movimientos base: estirar (sin considerar las distancias de desplazamiento) y girar.

Manufactura. Ya establecido el material, las pruebas para la manufactura (*fig. 4.17*) se realizaron en la cortadora LASERMEX de la Facultad de Ingeniería para disminuir los costos por prueba, después de múltiples iteraciones los valores establecidos fueron:

Cut

- Speed = 10
- Power = 42
- Corner power = 40
- Overlap = 0

Engrave

- Speed = 150
- Power = 45
- Scan gap = 0.08



Figura 4.17. Primeras pruebas de corte. Elaboración propia.

Ensamble. El ensamble se llevó a cabo plegando las líneas guía grabadas con la cortadora y uniendo algunas partes de la estructura central, así como los soportes con silicón, como se ilustra en la *Figura 4.18* (piezas principales).



Figura 4.18. Primeras pruebas de ensamble. Elaboración propia.

Funcionalidad. Las pruebas de funcionalidad se realizaron una vez terminado todo el ensamble de cada pieza, probando la efectividad del giro y desplazamiento.

c. Análisis I

Estructura izquierda: El cierre no se ajustó lo suficiente debido a que las pestañas no ensamblaron correctamente (*fig. 4.18*).

Estructura derecha: Al igual que en la estructura izquierda, el cierre no se ajustó adecuadamente.

Estructura central: Inicialmente se colocaron tres soportes diferentes para una estructura más firme, sin embargo, al realizar todo el ensamble de la pieza se llegó a la conclusión de que el soporte interno era innecesario, las dos tapas le brindaban suficiente estabilidad y con ello, se esperaba una reducción en el tiempo de corte y el área del material empleada; en cuanto a su funcionalidad, el desplazamiento de esta estructura cumplió con las expectativas.

Ejes: Las dimensiones de los ejes cuadrados quedaron tan reducidas que el material se quemó de las orillas y no se logró una integración completa, por lo que la geometría y el material para los ejes tenían que cambiar; su funcionalidad en cuanto a la rotación no fue como se esperaba, ya que en algunos ángulos el prototipo se bloqueaba y no giraba totalmente.

Soportes internos: Se acoplaron favorablemente a las estructuras derecha e izquierda, por lo tanto, sus dimensiones ya no serían modificadas.

Corte y grabado: Los valores de la cortadora necesitaron ser modificados, debido a que las plantillas sufrieron quemaduras en algunas esquinas y en las orillas se observaron bastantes residuos de ceniza (*fig. 4.18*).

Partiendo de este análisis, dado que se necesitaban realizar diferentes cambios, se inició el diseño de un segundo prototipo funcional integrado.

d. Prototipo funcional integrado II

En la siguiente iteración o prototipo, los valores para el corte cambiaron a los siguientes:

Cut

- Speed = 10
- Power = 40
- Corner power = 40
- Overlap = 0

Engrave

- Speed = 180
- Power = 26
- Scan gap = 0.08

La estructura derecha experimentó dos cambios importantes:

- Se dividió en dos partes, separando uno de sus soportes para evitar desperdicio de material en la plantilla (*fig. 4.19*).
- En el tipo de cierre, las pestañas de cada lado embonaban en un lugar diferente, como se muestra en la *Figura 4.19* con la estructura derecha.

En la pieza central se realizaron las modificaciones establecidas previamente en el Análisis I, mientras que, en la estructura izquierda solo se alargaron las pestañas de cierre de tal modo que no hubiera problemas en el ensamble como en el prototipo anterior.



Figura 4.19. Vista inferior de algunas piezas del prototipo FI 2. Elaboración propia.

En cuanto a los ejes, se decidió explorar otro tipo de cartón que fuera lo suficientemente flexible para formar un cilindro hueco en vez de un prisma cuadrangular; se optó por cartón microcorrugado (algunos cilindros están hechos de este material y es fácil de conseguir) para probar si además de ser flexible, proporcionaba estabilidad.

e. Análisis II

Al analizar las 3 estructuras principales del dispositivo, así como el corte, grabado y los ejes, se llegaron a las siguientes conclusiones:

Estructura izquierda: Aumentando las dimensiones de las pestañas de cierre se logró un ensamble más puntual, sin embargo, como la superficie del material era lisa, dichas pestañas se resbalaban, provocando un desplazamiento fuera de su lugar; además, durante este segundo ensamble se notó que el soporte interno de la pieza era innecesario (*fig. 4.20*), bastaba ensamblar correctamente el soporte izquierdo con la estructura de sujeción para evitar flexión en zonas donde los dedos ejercían más fuerza (asimismo para la estructura derecha).

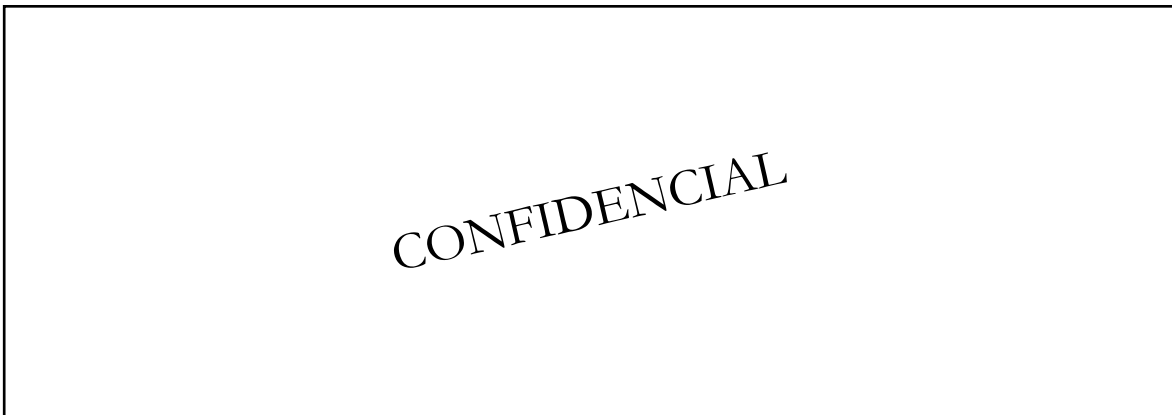


Figura 4.20. Soportes de la estructura izquierda – Prototipo FI 2. Elaboración propia.

Estructura derecha: El nuevo sistema de cierre seguía sin funcionar como se esperaba, por lo que considerando un cambio de material se probaría nuevamente la configuración de cierre establecida para el prototipo FI 1, a fin de comprobar si el tipo de superficie del material afectaba significativamente.

Estructura central: El diseño de esta estructura no presentó contratiempos, ensambló adecuadamente, de esta manera ya se podían definir las dos distancias de desplazamiento.

Ejes: El cartón microcorrugado era lo suficientemente flexible para formar un cilindro hueco (fig. 4.21), tal y como se esperaba, sin embargo, al no resistir el peso de la estructura, el material necesitaba cambiarse nuevamente.

Corte y grabado: A pesar de la modificación de valores que se realizó, el material (ilustración dos caras) aún se quemaba y algunos pliegues no se realizaban con facilidad (fig. 4.21), así que, además de aumentar la profundización del grabado, el espacio para los pliegues tenía que ser respecto del ángulo requerido entre cada doblez.



Figura 4.21. Segunda prueba de corte – Estructuras derecha e izquierda del prototipo FI 2. Elaboración propia.

Considerando cada parte del análisis, dio comienzo el diseño de una tercera iteración.

f. Prototipo funcional integrado III

El material para este tercer prototipo cambió a ser cartón comprimido gris #4, cuyo grosor era de 1.9 mm, su superficie rugosa y su precio más bajo comparado con el papel ilustración dos caras; debido a que tiene un grosor superior al ilustración de +0.4 mm, los valores de la simulación en Fusion 360 © se modificaron, así como los de la cortadora laser, siendo:

Cut

- Speed = 10
- Power = 38
- Corner power = 36
- Overlap = 0

Engrave

- Speed = 180
- Power = 24
- Scan gap = 0.08

Los espacios o anchura para los pliegues se establecieron conforme al ángulo de pliegue, tal y como se muestra en la *Tabla 4.3*.

Tabla 4.3

Pliegues

Ángulo del pliegue	Anchura [mm]	Tolerancia [mm]	Ubicación
25°	0.8	±0.2	Estructuras derecha e izquierda (cuerpo de sujeción).
De 40° a 50°	1.7	±0.5	Estructuras principales (cuerpos octogonales).
De 65° a 70°	2.2	±0.2	Estructuras derecha e izquierda (cuerpo de sujeción).
De 85° a 90°	2.5	±0.3	Estructuras principales.
180°	4	±0.2	Estructura derecha (topes de desplazamiento).

Al diseño de sujeción se le incorporaron 6 pestañas, de tal modo que ensamblaran frontalmente con su respectivo soporte (*fig. 4.22*), reduciendo el material empleado.

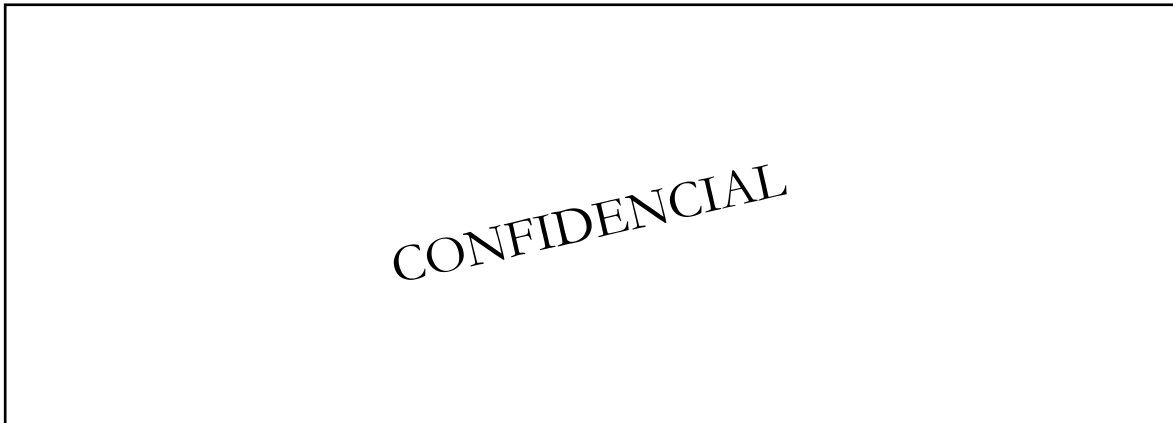


Figura 4.22. *Vista frontal de las estructuras derecha e izquierda.* Elaboración propia.

La longitud de la estructura central fue de aproximadamente 100 mm debido a que el diseño de este prototipo consideró los 20 mm de longitud del sensor ultrasónico, así como su rango de detección (inicia en 20 mm); además, se colocaron dos leds (*fig. 4.23*) para indicarle al usuario la proximidad del límite, evitando que estirara más el eje. Anteriormente con Accury el desplazamiento máximo era de 80 mm para prevenir la flexión del dispositivo, en este nuevo diseño la distancia máxima de desplazamiento será de 60 mm.

La estructura derecha se modificó en tres puntos; el cuerpo geométrico, dejando un espacio para la caja de baterías, el tipo de cierre, retomando el diseño del prototipo funcional integrado 1 y la longitud de los límites de desplazamiento, ya que en este prototipo se incluyeron las dos distancias de desplazamiento.

CONFIDENCIAL

Figura 4.23. Desplazamiento de prototipo FI 3. Elaboración propia.

Tras diferentes iteraciones, aún no se tenía un material para los ejes con suficiente resistencia para no flexionarse en un movimiento de rotación, por lo que se realizó una búsqueda de tubos fabricados de cartón o plástico (impidiendo la generación de sustancias tóxicas y corrosivas) con un diámetro externo no mayor a 18 mm.

Tabla 4.4

Matriz de decisión para material de ejes

Tipo de tubo	Tubo de cartón	Tubo PVC	Tubo CPVC	Tubo ABS
Diámetro < 18 mm	1	1	1	1
Facilidad de adquisición	0	1	1	0
Precio accesible	0	1	1	0
Puntuación	1	3	3	1

De acuerdo con la *Tabla 4.4*, las 3 principales características que se tomaron en cuenta para decidir el nuevo material de los ejes fueron: diámetro externo menor a 18 mm (permitiendo el paso de los cables), facilidad de adquisición y un precio accesible (la longitud a emplear por dispositivo serían 2 fragmentos de 25 mm aproximadamente), determinado dos alternativas de material, tubo PVC y CPVC.

CONFIDENCIAL

Figura 4.24. Ensamble por partes de los ejes – Prototipo FI 3. Elaboración propia.

En función de las estructuras izquierda y central, el ensamble de los ejes consistía en dos pasos, primero, serían fijados de un extremo con silicón en la estructura izquierda (*fig. 4.24-a*), posteriormente para realizar la rotación, su unión con la estructura central tenía que ser mediante topes; en la *Figura 4.24* se observan dichas uniones por separado para apreciar mejor cada una.

El elemento que cumpliría la función de tope sería un anillo de retención, ya que son lo suficientemente anchos para evitar el desplazamiento horizontal del eje a través de la pieza central; para probar su funcionalidad en esta iteración se decidió analizar un anillo tipo E por su forma de sujeción, finalizando el diseño del prototipo FI 3 (*fig. 4.25*).



Figura 4.25. Vista frontal de algunas piezas del prototipo FI 3. Elaboración propia.

g. Análisis III

Al analizar las 3 estructuras principales nuevamente, así como el corte, grabado, los ejes, topes de ejes y pliegues, se llegaron a las siguientes conclusiones:

Estructura izquierda: El cierre se realizó correctamente, confirmando que la superficie lisa del material sí afectaba el ensamble; además al eliminar el soporte doble y colocar las 6 pestañas mencionadas en el análisis previo, se redujo el número de pliegues, así como el tiempo de corte y ensamble.

Estructura derecha: El cierre era mejor que en los prototipos anteriores, sin embargo, no ensamblaba completamente bien, las pestañas aún se movían parcialmente; por otro lado, las pestañas para los topes de desplazamiento ensamblaron correctamente, así como las 6 pestañas con su respectivo soporte.

Estructura central: El ensamble no causó mayor complejidad, había suficiente espacio interno para colocar los sensores correspondientes, así como los leds indicadores y se deslizaba adecuadamente, los topes de desplazamiento de la estructura derecha no causaron ninguna obstrucción.

Ejes: En esta iteración se empleó tubo CPVC de ½ pulgada por su disponibilidad en tiendas y bajo costo; al ser un plástico con una resistencia a la tracción mayor a 7,700 psi, no se tuvieron problemas de deformación como ocurrió anteriormente con el cartón.

Topes de ejes: Los anillos de retención tipo E no fueron adecuados para los ejes, sí funcionaban adecuadamente como topes, pero el ensamble era complejo, ya que no existían anillos de este tipo con diámetro de ½ pulgada (12.7 mm), la medida más próxima era de 10 mm, además el material de fabricación (acero al carbón) tampoco ayudó a facilitar el ensamble (fig. 4.26).



Figura 4.26. Corte y Topes de ejes del prototipo FI 3. Elaboración propia.

Grabado: Analizando las plantillas cortadas se llegó a la conclusión de conservar los valores establecidos para el corte y grabado, debido a que el material ya no se quemaba de las orillas, aunado a ello, las distancias de la *Tabla 4.3* también contribuyeron a mejorar los pliegues, aumentando la facilidad de ensamble.

A pesar de que todavía no se definía un prototipo final, ya se tenía determinada la geometría correcta de las estructuras izquierda, central y derecha; en el siguiente prototipo se necesitaba definir el tope del eje y el sistema de cierre para iniciar las pruebas finales con estudiantes de medicina.

h. Prototipo funcional integrado IV

Las modificaciones de las estructuras en este prototipo FI 4 fueron mínimas, siendo:

Estructura izquierda: Se ajustó el orificio (fig. 4.27-*vista frontal*) donde se colocaría el eje del encoder rotativo.

Estructura derecha: La configuración de cierre se cambió nuevamente a la establecida para el prototipo FI 2 y se ajustaron los espacios donde embonarían las lengüetas para que la presión de cada lengüeta con el material las sujetara con firmeza.

Estructura central: Se diseñó la tapa trasera con espacio suficiente para el paso de los cables que se conectarían directamente con el microcontrador (fig. 4.27-*vista posterior*); la tapa delantera se ajustó para que las guías de los tubos tuvieran una geometría circular.



CONFIDENCIAL

Figura 4.27. Estructuras principales, vistas frontal y posterior – Prototipo FI 4. Elaboración propia.

Topes de ejes: En el prototipo previo, se investigaron elementos mecánicos (anillos de retención) cuyo propósito sería servir de tope, sin embargo, al no ser lo suficientemente aptos para MedingToy, se determinó realizar una búsqueda de diferentes objetos de plástico o silicón con la capacidad de actuar como topes.

Algunos de los objetos de plástico que se encontraron fueron: anillos ajustables para pies de aves, soporte de banda ajustable, cinchos de plástico, aros o bandas de silicón, pero solo uno de ellos se ajustó a la medida del tubo cpvc ($\frac{1}{2}$ pulgada o 12.7 mm); los cinchos o cintillos de seguridad son elementos que sirven para sujetar, cerrar o etiquetar algún objeto o grupo de objetos (Thorsmex group, 2020), en este caso funcionarían como topes para eliminar el movimiento horizontal de un eje.

Finalmente, ya que las modificaciones de este prototipo fueron mínimas comparándolo con las versiones anteriores, se integraría la electrónica restante.

i. Análisis IV

Las modificaciones realizadas en las estructuras izquierda y central no presentaron complicaciones en la manufactura y en el ensamble.

La configuración de cierre de la pieza derecha no resultó como se esperaba, ya que en un principio las lengüetas permanecían en su lugar, pero con el constante movimiento del dispositivo, se desajustaban, tal y como sucedía con los prototipos anteriores, por lo que se tomó la decisión de colocarle silicón (*fig. 4.28*) a la pestaña para evitar su desplazamiento, no obstante, la configuración de cierre aún seguía en proceso de diseño.



Figura 4.28. Configuración de cierre del prototipo FI 4. Elaboración propia.

Por otra parte, los cinchos funcionaron apropiadamente, como ya se había mencionado para el prototipo FI 3 (*fig. 4.24*), se debían ensamblar 4, dos en cada eje, de tal modo que la tapa de la pieza central quedara en el punto medio para evitar el desplazamiento, tal y como se muestra en la *Figura 4.29*.

En los extremos de los cinchos opuestos a la tapa se colocaron puntos de silicón para reforzar estos topes, considerando que en la última prueba (*apartado 4.2.1.2- Pruebas*) los estudiantes de medicina estiraban el prototipo de una forma brusca, rompiendo el tope de cartón.



Figura 4.29. Topes del prototipo FI 4. Elaboración propia.

Hasta este prototipo, los únicos componentes electrónicos ensamblados con la estructura eran: el encoder (*fig. 4.29*), el microcontrolador y parte de los botones, ya que todavía no se integraban totalmente, faltaba considerar los espacios para los tornillos, sin embargo, eso no presentaba complicaciones, solamente se tenían que agregar en los planos de corte.

4.2.2 Diseño electrónico

El diseño electrónico de MedingToy está conformado por la mayoría de los elementos con los que cuenta Accury: baterías, 10 botones que corresponden a cada uno de los dedos (grove-led button), un botón de encendido, 1 sensor que mide el desplazamiento angular (encoder rotativo), 1 sensor ultrasónico encargado de medir el desplazamiento lineal (Castro Alarcón, 2019), un microcontrolador (raspberry pi zero w), dos placas para facilitar la conexión de los botones y una placa principal para conectar el microcontrolador con todos los sensores.

Los botones se cambiaron por los seleccionados en la investigación de doctorado *Investigación con un enfoque Neurodesign para validar un dispositivo para la mejora de la motricidad fina* reportado en el artículo *Rumbo a la selección de parámetros de diseño identificando emociones* de Castro C., Borja V., Ramírez A. y Jiménez J. (2022)., beneficiando el diseño mecánico, ya que el grosor del material empleado en MedingToy permitía que el usuario lo presionara con facilidad, además esto redujo el ensamble de cables, ya que en Accury se tenía que usar cinta negra líquida para realizar uniones de 3 cables en diferentes puntos por la unión entre los botones y los leds, en cambio los botones grove-led empleados para este diseño ya tienen integrado un módulo, facilitando la conexión del led.

Las dos placas integradas en MedingToy redujeron el número de cables conectados a la placa central, es decir, la placa de cada empuñadura tendría conectados 5 botones, de tal forma que solo 7 cables (1 por botón y los 2 de voltaje positivo y negativo) se conectarían directamente con la placa central.

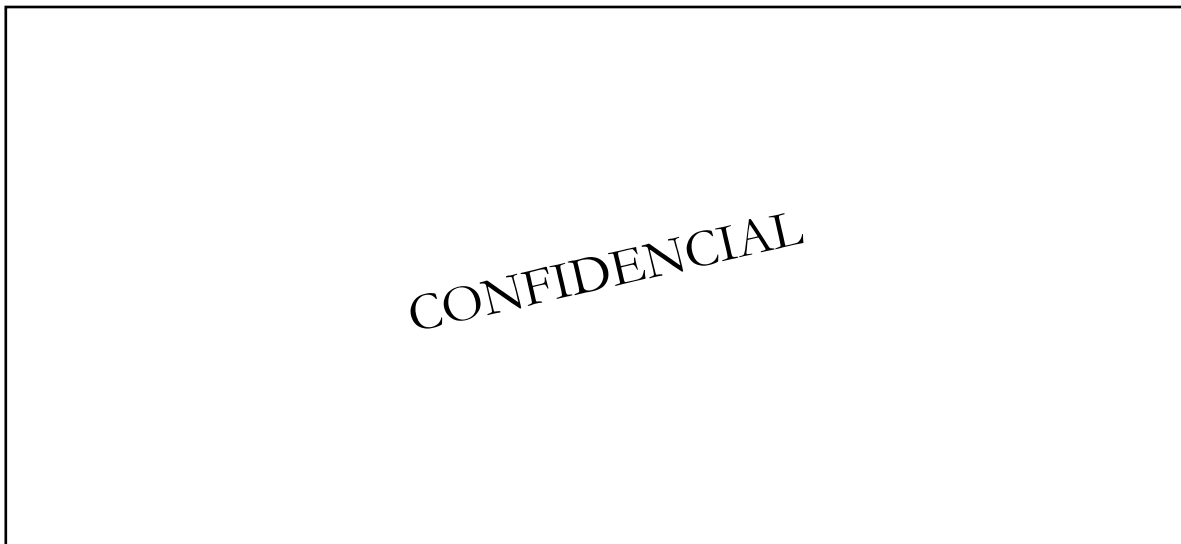


Figura 4.30. Pruebas de diseño electrónico. Elaboración propia.

Se llevaron a cabo pruebas con protoboards (fig. 4.30) para asegurar el funcionamiento correcto de la conexión entre los botones, y poder solicitar las placas: de esta forma, el diagrama electrónico cambió de ser el que se muestra la Figura 4.31 a la Figura 4.32.

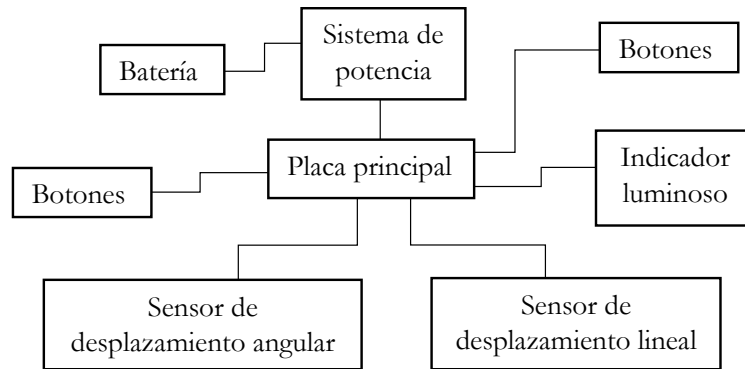


Figura 4.31. Diagrama electrónico para Accury. Elaboración propia.

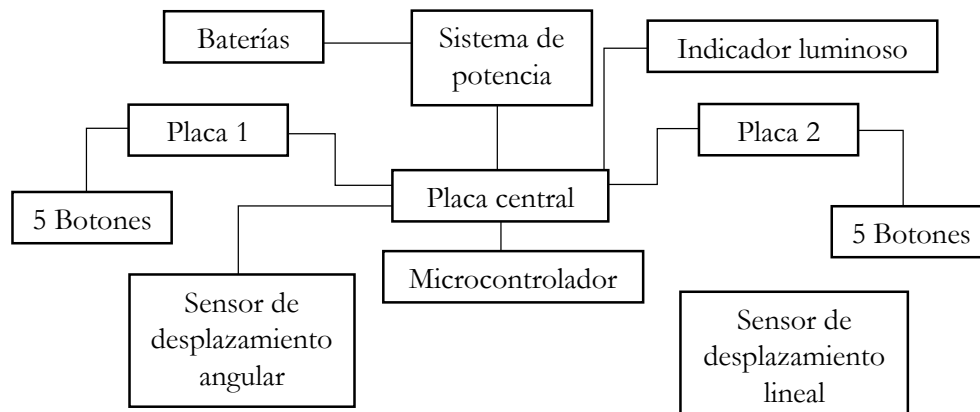


Figura 4.32. Diagrama electrónico para MedingToy. Elaboración propia.

4.2.3 Software

El funcionamiento del dispositivo necesitaba de una App (fig. 4.33), la cual se creó previamente para Accury, dicha App contiene las instrucciones de uso del juguete, así como todas las modalidades de juego y un registro de la puntuación que se realizaba; como se mencionó en el apartado de diseño electrónico, el componente más significativo que se cambió fueron los botones, sin embargo, esto no presentó la necesidad de modificar la programación.

Los únicos cambios realizados en el software fueron actualizaciones para la App, debido a las nuevas versiones de Android no funcionaba en las más recientes (a partir de la 12).



Figura 4.33. App para MedingToy. Adaptado de “Diseño, construcción y evaluación de un dispositivo para la mejora de la motricidad fina de estudiantes de medicina”, por Castro A., 2019, Tesis de Maestría, UNAM, p. 84.

CAPÍTULO 5. RESULTADOS FINALES

Previo a realizar otro prototipo con las consideraciones del análisis IV del capítulo 4, se llevaron a cabo las pruebas en la Facultad de Medicina.

5.1 Pruebas del diseño mecánico

Para la prueba final se necesitó la colaboración de 20 estudiantes de la Facultad de Medicina, en donde se les hicieron 6 preguntas para validar la funcionalidad mecánica del prototipo y su ergonomía.

Las preguntas de la encuesta fueron:

1. ¿Te agrada su geometría?
2. ¿Sientes cómodas tus manos cuando lo sostienes de las agarraderas o mangos? (sin presionar los botones) ¿Por qué?
3. Del 1 al 5, ¿Qué tan agradable es presionar sus botones?
4. ¿Cómo te sientes al presionar estos botones?
5. Del 1 al 5 ¿Qué tanto te agrada el diseño?, ¿Por qué?
6. Si pudieras cambiar cualquier cosa del diseño o su funcionalidad (presionar botones o estirar) ¿Qué le cambiarías?

5.2 Análisis de resultados

Los resultados se dividieron en dos partes, ya que la primera engloba las opiniones de cada usuario y la segunda parte indica el agrado o desagrado del usuario respecto al dispositivo y la comodidad de los botones; las conclusiones de la primera parte (*Tabla 5.1*) fueron:

- La incomodidad expresada por los usuarios en los últimos dos botones radica en la falta de movimiento de los dedos anular y meñique (Castro A. Carolina, comunicación personal, 2023).
- El límite de giro es necesario a los 90° para evitar una lesión en el usuario, ya que la muñeca tiene 90° como límite de giro.
- El sistema de topes diseñados para el desplazamiento y el giro no presentó dificultades para los usuarios.
- El material del dispositivo no presentó alguna incomodidad en los usuarios.
- La distancia de desplazamiento es apropiada para el tamaño del dispositivo, es decir, entre más grande sea esta distancia, más largo debe ser el cuerpo del dispositivo.

En cuanto a la segunda parte (*fig. 5.1*), las conclusiones fueron:

- El diseño del dispositivo fue aceptado por los usuarios.
- El diseño es ergonómico.
- Los botones no resultaron incómodos.

Tabla 5.1

Resultados de encuestas del prototipo FI 4 – Parte 1

2. ¿Sientes cómodas tus manos cuando lo sostienes de las agarraderas o mangos? ¿Por qué?	4. ¿Cómo te sientes al presionar los botones?	6. Si pudieras cambiar cualquier cosa del diseño o su funcionalidad ¿Qué le cambiarías?
<ul style="list-style-type: none"> ○ La forma amplia permite sostenerlo bien. ○ Son ergonómicas con un agarre adecuado para su manipulación. ○ Se acoplan bien en las palmas de mi mano. ○ El dispositivo sería más cómodo si fuese más pesado, la sensación es de algo frágil. ○ Es bastante grande, además de que el material con que está hecho es cómodo y suave. ○ Los botones están algo separados, pero no son tan incómodos. ○ Es muy fácil de manejar y agradable. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Se siente gracioso. ○ Cómoda, algunos mejor que otros. ○ Los botones pequeños no son tan fáciles de manipular. ○ Sensación agradable. ○ Bien, es satisfactorio presionar los botones. ○ Me sentí con ganas de apretar todos. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Cambiaría la distancia de los últimos dos botones de ambas manos. ○ Cambiaría el giro para que fuera de 360°, le agregaría otro eje del lado derecho y cambiaría la distancia de desplazamiento para que fuera más larga. ○ Me gustaría que cada botón accionara algo, como luz, un cantador, etc. ○ Un tamaño ligeramente más pequeño. ○ Que se estire más y que sea más movable.

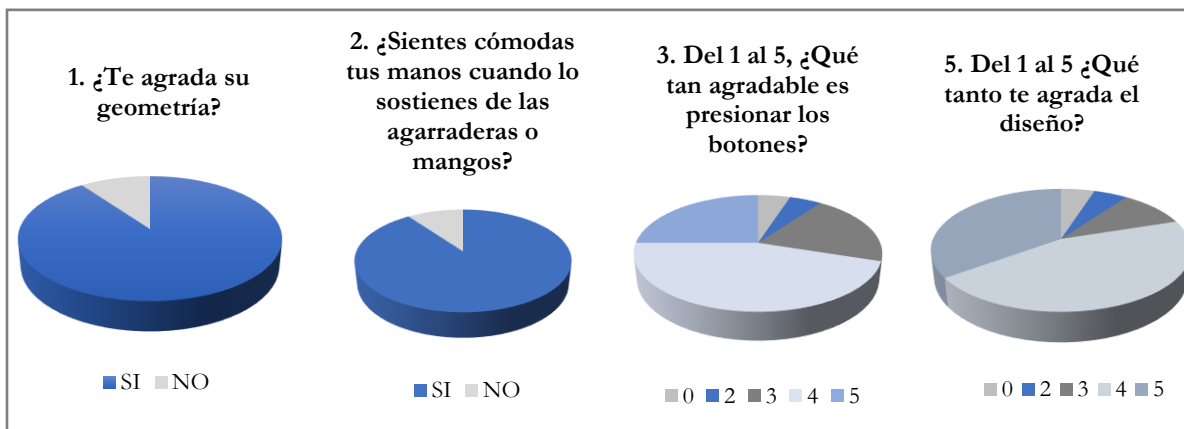


Figura 5.1. *Resultados de encuestas del prototipo FI 4 – Parte 2.* Elaboración propia.

Con estos resultados se concluyó la etapa de la validación por parte del usuario, dando paso a la última fase de diseño mecánico para MedingToy, el prototipo final.

5.3 Prototipo final

El prototipo final de MedingToy (FM) recabó toda la información del prototipo funcional integrado 4, para realizar las últimas modificaciones del diseño mecánico se modificó la configuración de cierre de la estructura derecha; después de diversos diseños por los que pasó cada prototipo, se elaboró un boceto de una última configuración para no emplear adhesivos (*Anexo A – fig. A5*), la cual consistió en utilizar pestañas-topes que se flexionaran, una vez que la pestaña completa de cierre ensamblara correctamente, las pestañas-topes se alinearían nuevamente evitando la apertura de toda la plantilla (*fig. 5.2*).



Figura 5.2. Sistema de cierre del prototipo funcional integrado 4 y el prototipo final de MedingToy. Elaboración propia.

La carcasa de las estructuras derecha e izquierda se redujo de tal forma que el botón para el dedo índice sobresaliera ligeramente, mejorando su visibilidad (*fig. 5.3*), además se agregaron los espacios para ensamblar los botones correctamente, es decir que se pudieran ensamblar con sus 3 respectivos tornillos.

La estructura izquierda se modificó, ya que al realizar el ensamble de la parte electrónica y mecánica algunas partes internas de los ejes se encontraban a la vista del usuario, por lo que se cambió la ubicación de la pestaña del soporte en la estructura (*fig. 5.3*).

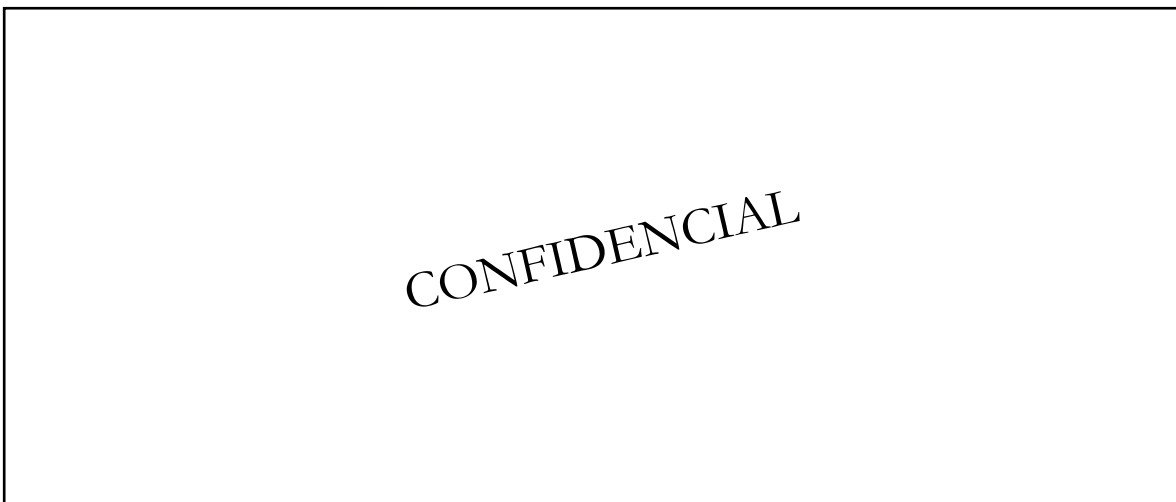


Figura 5.3. Estructura izquierda del prototipo FI 4 y FM. Elaboración propia.

5.4 Análisis de costos

Finalmente, con un último diseño, dio inicio el análisis de costos, realizando una comparativa entre los precios de cada material, así como el proceso de manufactura entre Accury y MedingToy.

Los costos actuales del material y el proceso de manufactura para estos dos dispositivos se encuentran en la *Tabla 5.2*.

Tabla 5.2

Costo final de Accury y MedingToy

Material y/o proceso	Cantidad	Precio por pieza	Accury	MedingToy
Botones push de 12 mm	10	\$5.00	\$50.00	
Cable plano de 16 vías	3 m	\$30.00	\$90.00	
Cartón comprimido gris 4, 90x130	1			\$26.27
Cartón tipo F de 76x102 cm			\$42.00	
Cinchos de plástico	4	\$0.20		\$0.80
Cinta de aislar liquida (40g)	1	\$39.00	\$39.00	
Conector dupont individual	1	\$15.00	\$15.00	\$15.00
Corte láser		\$6 por minuto	\$240.00	\$102.00
Encoder rotativo 20 pasos vuelta modulo	1	\$20.60	\$20.60	\$20.60
Grove led button	10	\$26.00		\$260.00
Interruptor mini para protoboard	1	\$5.00	\$5.00	\$5.00
Jumper Hembra-Hembra	1 tira	\$18.20	\$18.20	\$18.20
Leds ultrabrillantes blancos 3mm	2-12	\$2.90	\$34.80	\$5.80
Micro SD 32GB clase 10	1	\$186.00	\$186.00	\$186.00
Molex 2 vías hembra	1	\$10.00	\$10.00	\$10.00
Molex 2 vías macho	1	\$3.00	\$3.00	\$3.00
Pilas aaa recargables duracell	3	\$145.00	\$145.00	\$145.00
Placas para botones	2	\$42.80		\$85.60
Portapilas para 3 pilas aaa	1	\$24.00	\$24.00	\$24.00
Raspberry pi Zero W	1	\$430.00	\$430.00	\$430.00
Resistencias 1 kohms	1 paquete	\$2.00	\$2.00	\$2.00
Resistencias 220ohms	1 paquete	\$2.00	\$2.00	\$2.00
Resistencias 2kohms	1 paquete	\$2.00	\$2.00	\$2.00
Sensor ultrasonico	1	\$24.00	\$24.00	\$24.00

Silicón	1 paquete	\$29.00	\$29.00	\$29.00
Soldadura de estaño	1	\$44.00	\$44.00	\$44.00
Step-Up/Step-Down 5V – S9V11F5	1	\$290.00	\$290.00	\$290.00
Switch 125v 2A fin de carrera	1	\$4.00	\$4.00	\$4.00
Tira Headers hembra	1 tira	\$4.00	\$4.00	\$4.00
Tira Headers macho	1 tira	\$5.00	\$5.00	\$5.00
Tornillo M2, 20 mm	30	\$2.00		\$60.00
Tornillo M2.5, 20mm largo	12	\$2.00		\$24.00
Tubo CPVC 1/2 x 1m	2 piezas de 25 mm	\$1.00		\$2.00
Tuerca hexagonal M2	30	\$1.00		\$30.00
Tuerca hexagonal M2.5	12	\$1.40		\$16.80
Zapatas hembra	1 paquete	\$14.00	\$14.00	\$14.00
Total			\$1,772.60	\$1,890.07

De acuerdo con las cantidades totales de la *Tabla 5.2*, MedingToy tiene un costo más elevado que Accury por \$117.47, sin embargo, este incremento se encuentra justificado por cada mejora del diseño; la reducción de piezas disminuyó el tiempo de corte pasando de 40 a 17 minutos, el cambio de material incrementó el número de dispositivos que se pueden cortar con un pliego, pasó de ser un dispositivo y medio a tres y tres cuartos, adicionalmente se intercambiaron botones push de 4 terminales por botones con led integrado de 2 señales para facilitar la conexión, y se diseñaron dos placas para los botones correspondientes de cada mano reduciendo el número de cables que se conectan con la placa principal.

CONCLUSIONES

Accury es un prototipo que atravesó diversas etapas de diseño para llegar a un modelo final, MedingToy, tomando cada uno de los antecedentes, entendiendo los movimientos de las partes principales del cuerpo producidos con la interacción del dispositivo y las características esenciales del diseño previo (Accury) a este último rediseño o modelo, se logró un rediseño más ergonómico que se caracterizó por una reducción del 86% en piezas.

Reconfigurando el diseño mecánico, así como la parte electrónica, ya que la conexión led-botón se simplificó de tal forma que ahora en vez de tener una unión entre 3 cables usando cinta de aislar líquida, el usuario solo conecta directamente un cable grove (cable con 4 pines) con la placa que le corresponde a cada botón.

Cada fase de rediseño que se realizó utilizando la metodología de diseño centrado en el usuario del dispositivo Accury, tomó en cuenta opiniones de usuarios y consideraciones del propio diseñador basadas en la observación de la interacción que los alumnos de medicina tuvieron con cada prototipo, entendiendo los requerimientos del usuario sin dejar de lado las necesidades establecidas para este rediseño, así como los objetivos y alcances de esta tesis, la hipótesis “El rediseño del dispositivo que ayuda en el desarrollo de las habilidades motrices finas (Accury) está basado en la mejora de su sistema mecánico, obteniendo alteraciones provechosas en su sistema eléctrico, adyacente con su relación costo-material” se concluye como favorable o cierta, ya que las innovaciones de diseño para MedingToy son consistentes con el costo final del juguete, sin embargo, cabe enfatizar que este diseño puede o no ser el definitivo para el proyecto “Simuladores médicos”.

Se deja a consideración del siguiente equipo de trabajo encontrar nuevas especificaciones e ideas innovadoras que le asignen un nuevo valor agregado al dispositivo para que no solo pueda ser usado por estudiantes de medicina, sino, diferentes grupos multidisciplinarios que lo necesiten.

REFERENCIAS

- Instituto Nacional del Cáncer. (s.f.). *NIH*. Obtenido de <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/tejido-fibroso>
- Aguilar, J. (2020). *Gaceta Facultad de Medicina*. Obtenido de <https://gaceta.facmed.unam.mx/index.php/2020/10/30/perspectiva-de-genero-en-la-formacion-de-profesionales-en-salud/>
- Amazon. (s.f.). *Juguete Laberinto de cuentas de 3 caminos de madera*. Obtenido de https://www.amazon.com.mx/Dear-Mia-Little-Liz-Estimulaci%C3%B3n/dp/B0B323LTK7/ref=asc_df_B0B323LTK7/?tag=gledskshop-mx-20&linkCode=df0&hvadid=547284509276&hvpos=&hvnetw=g&hvrnd=651860691632287778&hvpone=&hvptwo=&hvpone=&hvptwo=&hvqmt=&hvdev=c&hvdvcmdl=&hvlocint=&hvlocphy
- Ávila Chaurand, R., Prado León, L. R., & González Muñoz, E. L. (2007). *Dimensiones antropométricas de la población latinoamericana*. México: Universidad de Guadalajara.
- Biblioteca Nacional de Medicina de EE. UU. (2023). *MedlinePlus*. Obtenido de <https://medlineplus.gov/spanish/>
- Binvignat, O., Almagià, A., Lizana, P., & Olave, E. (2012). Aspectos Biométricos de la Mano de Individuos Chilenos. *International Journal of Morphology*, 599-606. Disponible en http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-95022012000200040&lng=es. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022012000200040>.
- Cabrera Valdés, B. d., & Dupeyrón García, M. d. (2019). *El desarrollo de la motricidad fina en los niños y niñas del grado preescolar*. Obtenido de Mendeive. Revista de Educación: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-76962019000200222&lng=es&tlng=es
- Carrillo, E., Aguilar, V., & González, Y. (2020). *SciELO*. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-76962020000400794
- Castro Alarcón, C. (2019). Diseño, construcción y evaluación de un dispositivo para la mejora de la motricidad fina de estudiantes de medicina [Tesis de Maestría]. *Repositorio Facultad de Ingeniería*.
- Castro, C., Borja, V., Ramírez, A., & Jiménez, J. (2022). Rumbo a la selección de parámetros de diseño identificando emociones. *Memorias de divulgación científica y tecnológica de la Ingeniería mecánica en México*, pp. 190-196.

- CENAGEM. (2020). *Las Anomalías Congénitas*. Obtenido de Centro Nacional de Genética Médica "Dr. Eduardo E. Castilla": <http://www.anlis.gov.ar/cenagem/?p=879>
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos [Const]. (2022). *Art. 4, párrafo décimo tercero*. México: H. Congreso de la Unión.
- Díaz Reátegui, J. P., & Sisley Tello de Lozano, T. L. (2018). Motricidad gruesa [Tesis]. Obtenido de Universidad Científica del Perú: <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/910>
- Fundación Mayo para la Educación y la Investigación Médicas. (2023). *Mayo Clinic*. Obtenido de <https://www.mayoclinic.org/es>
- García Rodríguez, I. (s.f.). *levelup*. Obtenido de <https://www.levelup.com/articulos/160607/El-proceso-de-diseno-de-un-control>
- García-Porrero, J. A., & Hurlé, J. M. (2020). *Anatomía humana*. Editorial Médica Panamericana.
- Hasbro Gaming. (2016). *Juguete Perfection*. Obtenido de <https://shop.hasbro.com/es-mx/product/perfection-game/7EA8C49D-5056-9047-F53E-18830B4E0183>
- Hasbro Gaming. (2023). *Juguete Bop it*. Obtenido de <https://instructions.hasbro.com/es-co/instruction/bop-it-electronic-game>
- Hasbro Gaming. (2023). *Juguete cubo de formas*. Obtenido de <https://shop.hasbro.com/es-mx/product/playskool-play-favorites-form-fitter/8EBE6EC8-6D40-1014-8BF0-9EFBF894F9D4>
- Hasbro Gaming. (2023). *Juguete Operando*. Obtenido de <https://shop.hasbro.com/es-419/product/classic-operation-game/03B9FF5E-5056-9047-F5FF-D57592C4E2FE>
- Instituto Nacional del Cáncer. (s.f.). Obtenido de <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/tejido-fibroso>
- Instituto Nacional del Cáncer. (s.f.). Obtenido de <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/sistema-inmunitario>
- Izquierdo, M. (2008). *Biomecánica y Bases Neuromusculares de la Actividad Física y el Deporte*. Editorial Médica panamericana.
- Laguna, M. (2023). *Kenhub*. Obtenido de <https://www.kenhub.com/es/library/anatomias/cintura-escapular-es>
- Latarjet, M., & Ruiz, A. (2012). *Anatomía Humana*. Editorial Médica Panamericana.
- Logitech. (s.f.). *¿Me conviene más un mouse ergonómico?* Obtenido de <https://www.logitech.com/es-mx/ergo/ergonomic-mouse-benefits.html>

- Mendoza Morán, Á. M. (2017). Desarrollo de la motricidad fina y gruesa en etapa infantil. *Sinergias educativas*, 10-20. <https://doi.org/10.37954/se.v2i2.25>.
- Moore, K., Dalley, A., & Agur, A. (2013). *Anatomía con orientación clínica*. Wolters Kluwer.
- Nova, Santiago. (2023). *KENHUB*. Obtenido de <https://www.kenhub.com/es/library/anatomia-es/cerebro-es>
- OMS. (2022). Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/physical-activity>
- Real Academia Española, d. 1. (s.f.). Obtenido de <https://dle.rae.es/mano>
- Real Academia Española, d. 7. (s.f.). Obtenido de <https://dle.rae.es/mu%C3%B1eco#Q6AmRPw>
- Real Academia Española, definición 1. (s.f.). Obtenido de <https://dle.rae.es/prender?m=form>
- Real Academia Española, definición 1. (s.f.). Obtenido de <https://dle.rae.es/anatom%C3%ADa>
- Real Academia Española, definición 1. (s.f.). Obtenido de <https://dle.rae.es/nervio>
- Real Academia Española, definición 1. (s.f.). Obtenido de <https://dle.rae.es/tend%C3%B3n>
- Real Academia Española, definición 1. (s.f.). Obtenido de <https://dle.rae.es/antropometr%C3%ADa?m=form>
- Real Academia Española, definición 2. (s.f.). Obtenido de <https://dle.rae.es/ligamento>
- Real Academia Española, definición 2. (s.f.). Obtenido de <https://dle.rae.es/motricidad>
- Real Academia Española, definición 2. (s.f.). Obtenido de <https://dle.rae.es/ergon%C3%B3mico?m=form>
- Serrano, C. (2022). *Kenhub*. Obtenido de <https://www.kenhub.com/es/library/anatomia-es/articulacion-glenohumeral>
- Serrano, C. (2023). *Kenhub*. Obtenido de <https://www.kenhub.com/es/library/anatomia-es/cartilago>
- Teulé-Melero, J. (2015). *Re-Unir*. Obtenido de Repositorio Institucional de la UNIR: <https://reunir.unir.net/handle/123456789/3268>
- Thorsmex group. (2020). *THORSMAN*. Obtenido de <https://thorsmex.mx/blog/usos-y-caracteristicas-de-los-cinchos-para-cables/>
- Tortora, G., & Derrickson, B. (2015). *Principios de Anatomía y Fisiología*. Editorial Medica Panamericana.

Tuttle Will. (2020). *XBOX*. Obtenido de <https://news.xbox.com/es-latam/2020/03/16/xbox-series-x-llega-con-el-mejor-control-en-la-historia/>

Ulrich, K., & Eppinger, S. (2013). *Diseño y desarrollo de productos*. McGraw Hill.

Universia. (8 de Noviembre de 2013). *Pérdida de motricidad en los jóvenes*. Obtenido de <https://www.universia.net/co/actualidad/orientacion-academica/perdida-motricidad-jovenes-1062305.html>

Villa-Forte, Alexandra. (s.f.). *MANUAL MSD*. Obtenido de <https://www.msmanuals.com/es-mx/hogar/trastornos-de-los-huesos,-articulaciones-y-m%C3%BAsculos/biolog%C3%ADa-del-sistema-musculoesquel%C3%A9tico/tendones-y-bolsas-sinoviales>

ANEXOS

Anexo A

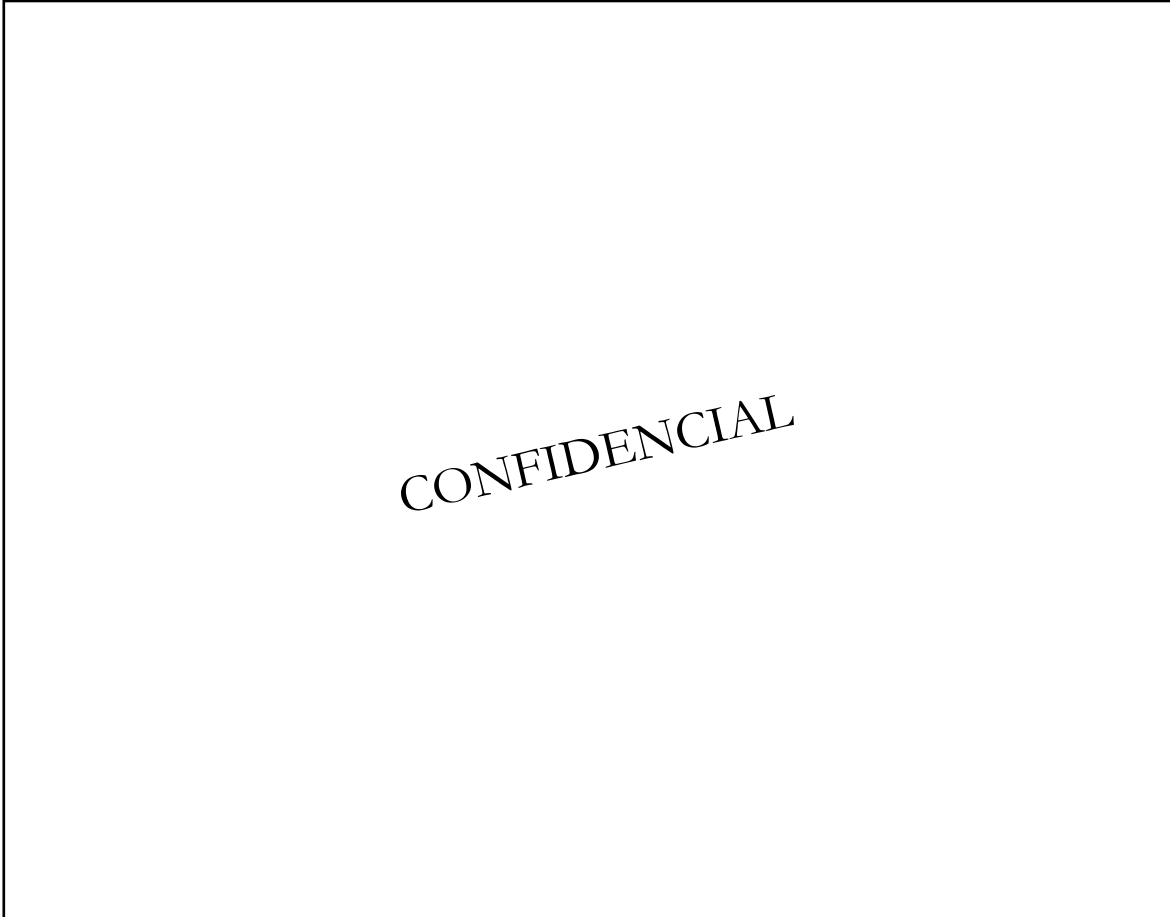


Figura A1. Boceto para el diámetro de empuñadura. Elaboración propia.

CONFIDENCIAL

Figura A2. Boceto para la sujeción de la mano izquierda. Elaboración propia.

CONFIDENCIAL

Figura A3. Boceto para la sujeción de la mano derecha. Elaboración propia.

CONFIDENCIAL

Figura A4. Boceto para las dimensiones finales de la empuñadura. Elaboración propia.

CONFIDENCIAL

Figura A5. *Configuración final de cierre.* Elaboración propia.

Anexo B

Medidas del diseño de sujeción

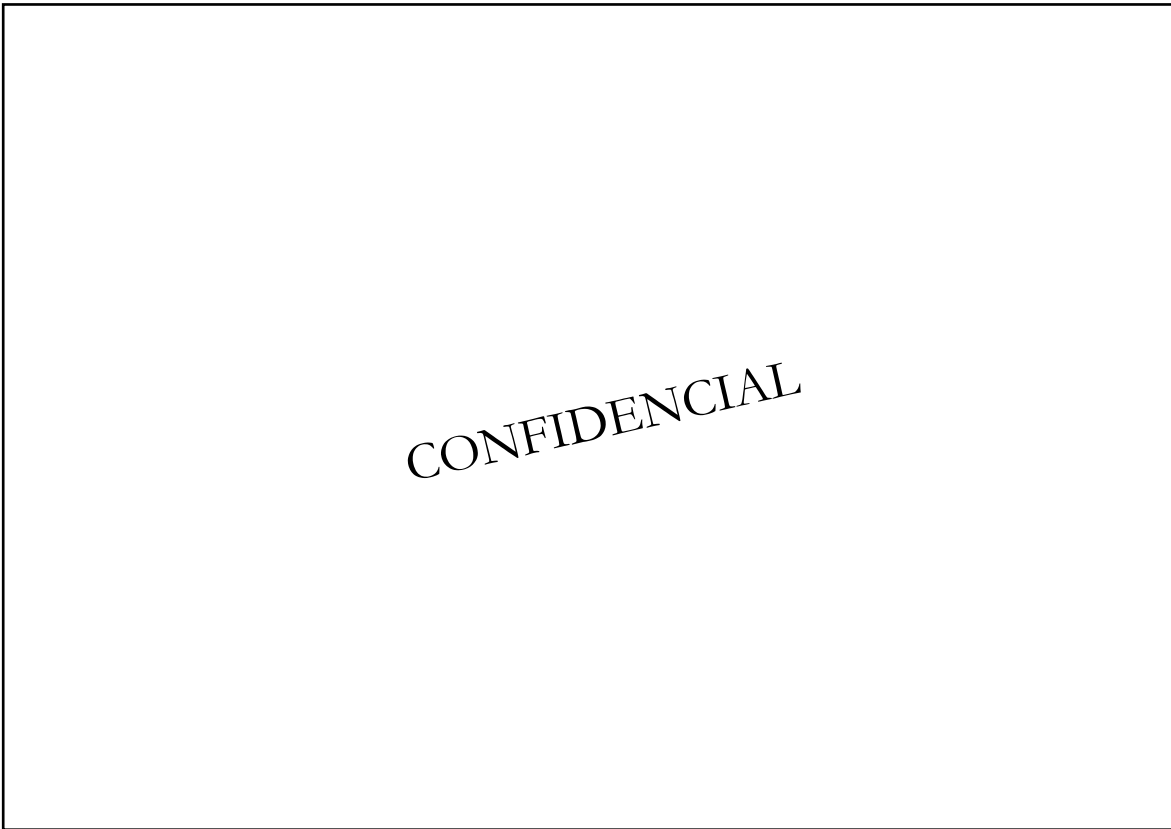


Figura B1. Boceto de empuñadura vista inferior y superior. Elaboración propia.

En la *Figura B1* se indican las medidas inferiores y superiores de la empuñadura una vez ensamblada, la descripción de cada medida inferior de este boceto es la siguiente:

1. Para la primera distancia se tomó la mitad del diámetro de empuñadura promedio (20 mm) en la población mexicana de la *Tabla 3.9* (40 mm) con una tolerancia de ± 2 mm debido a lo siguiente:
 - La distancia entre pliegues es mayor.
 - Se reduce el número de pliegues, por lo tanto, disminuye el tiempo de ensamble.
 - Reduce el tiempo de manufactura, ya que debe haber líneas guía para los pliegues.
2. En la segunda distancia se consideró que la línea media de la circunferencia que forma la empuñadura cruzaría por la mitad de las falanges proximales (véase en *Articulaciones, ligamentos y movimientos del miembro superior*), así que al ser esta distancia la mitad del diámetro, su longitud sería igual al radio (20 mm) con una tolerancia de ± 2 mm.
3. La tercera distancia es variable (debido al ensamble con el cuerpo de MedingToy), sin embargo, se consideraron 65 mm (incluyendo una distancia de ± 15 mm por los cables) como mínimo por el largo de los botones que se están empleando, cuya medida es de 50 mm aproximadamente.

4. La cuarta distancia es igual al promedio del diámetro de empuñadura de la población mexicana de la *Tabla 3.9*, tal y como se menciona para la primera distancia, es de 40 mm con una tolerancia de ± 2 mm.
5. En la última distancia de este boceto se consideraron 35 mm con una tolerancia de ± 2 mm. por la medida del ancho de los botones (12 mm), además de que se debe dejar suficiente espacio para el eje de rotación.

En cuanto a la vista superior, las medidas base fueron las que se describieron para la vista inferior, sin embargo, como ya se había mencionado en el prototipo de función crítica del cuerpo 1, para tener una pendiente en los extremos del diseño era necesario que una de las dos partes tuviera dimensiones inferiores en comparación con la otra, por ello, las medidas originales se escalaron a 75% con una tolerancia de ± 5 mm., como se puede ver en la *Tabla B1*.

Tabla B1

Medidas para el sistema de sujeción

No. de distancia	Vista inferior [mm]	Vista superior [mm]
1	21.3	17.92
2	20.85	14.01
3	65.35	54.67
4	41.09	31.8
5	36.47	27.43

Descomponiendo los pliegues se llega a la plantilla original de la *Figura B2*, la cual contiene las dimensiones restantes basadas en las tablas (*3.11, 3.12, 3.13, 3.14, 3.15, 3.16, 3.17, 3.18 y 3.19*) de medidas antropométricas de los dedos, así como la longitud de los botones (*Capítulo 4 apartado 4.2.2 Diseño electrónico*).

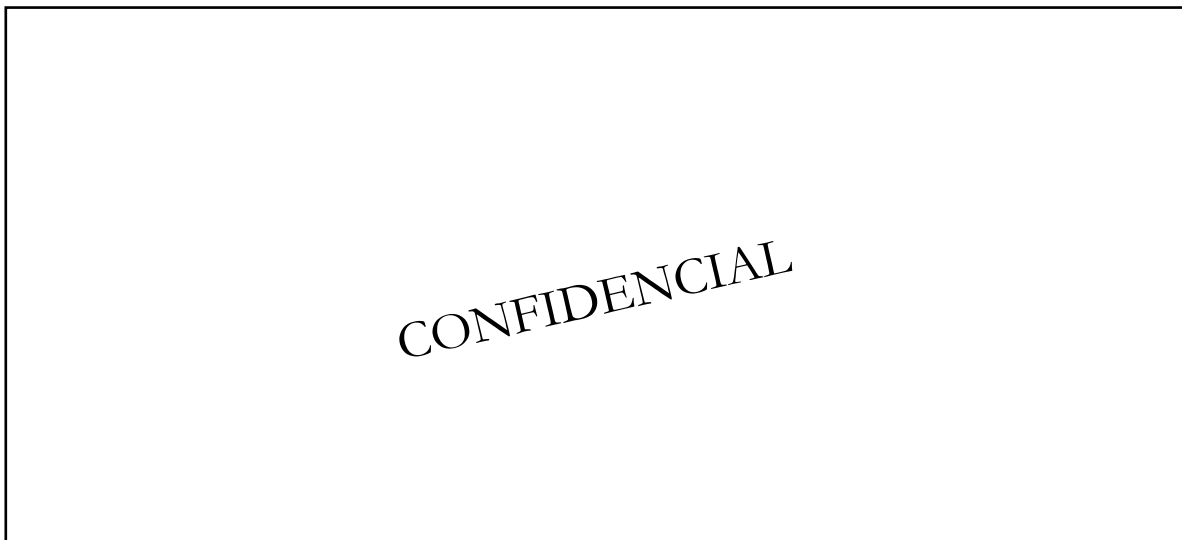


Figura B2. *Plantilla para de la empuñadura.* Elaboración propia.

El cálculo de la distancia para ubicar el botón del dedo índice se realizó con la siguiente fórmula:

$$Distancia_a = L_p + L_m + \frac{1}{2}L_d - 20 \dots (1)$$

Siendo:

L_p – Longitud de la falange proximal

L_m – Longitud de la falange medial

L_d – Longitud de la falange distal

Se empleó la mitad de la longitud de la falange distal para que el botón no quedara en la punta del dedo, además se le restaron 20 mm debido a que la cabeza de la falange proximal se iba a ubicar en el tercer pliegue (*fig. B2*), por lo tanto, la flexión del dedo en el cuarto pliegue restaría longitud.

En el caso de los dedos anular y medio, la fórmula fue:

$$Distancia_b = L_p + L_m + \frac{1}{2}L_d - 16 \dots (2)$$

Se le restaron 16 mm debido a que en las encuestas de validación geométrica los dedos medio y anular no se ajustaron correctamente a la distancia con la fórmula 1.

Finalmente, para los dedos restantes (pulgarc y meñique) la fórmula fue la siguiente:

$$Distancia_c = L_p + L_m + \frac{1}{2}L_d \dots (3)$$

El único ajuste que se realizó fue en el dedo meñique, además de aplicar la fórmula se le restaron 4 mm por la misma razón que los dedos anular y medio.

El cálculo para cada uno de los dedos fue:

Dedo pulgar:

$$Distancia_{pulgarc} = L_p + L_m + \frac{1}{2}L_d = 28.5 + 0 + \frac{23.8}{2} \approx 40[mm] \dots (4)$$

Dedo índice:

$$Distancia_{indice} = L_p + L_m + \frac{1}{2}L_d - 20 = 30.9 + 20.5 + \frac{18.7}{2} - 20 \approx 41[mm] \dots (5)$$

Dedo medio:

$$Distancia_{medio} = L_p + L_m + \frac{1}{2}L_d - 16 = 32.9 + 24.4 + \frac{19.4}{2} - 16 = 51[mm] \dots (6)$$

Dedo anular:

$$Distancia_{anular} = L_p + L_m + \frac{1}{2}L_d - 16 = 30.4 + 22.9 + \frac{19.5}{2} - 16 \approx 47[mm] \dots (7)$$

Dedo meñique:

$$Distancia_{meñique} = L_p + L_m + \frac{1}{2}L_d = 24.1 + 16.3 + \frac{16.9}{2} - 4 \approx 45[mm] \dots (8)$$

Anexo C

CONFIDENCIAL

Lista de piezas			
elemento	ctd	número de pieza	material
1	1	Pieza derecha	Papel
2	1	Pieza central	Papel
3	2	Pieza soporte	Papel
4	1	Pieza izquierda	Papel



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA



NOMBRE

Arlet Andrea Delgadillo Vera

ESCALA

1:2.7

UNIDADES

mm

NOMBRE DEL DIBUJO

MedingToy - Explosivo

FECHA

20/05/2024

DIBUJO

1

CONFIDENCIAL



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA**



NOMBRE

Arlet Andrea Delgadillo Vera

ESCALA

1:3

UNIDADES

mm

NOMBRE DEL DIBUJO

MedingToy - Vistas 1

FECHA

20/05/2024

DIBUJO

2



CONFIDENCIAL



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA



NOMBRE

Arlet Andrea Delgadillo Vera

ESCALA

1:3.5

UNIDADES

mm

NOMBRE DEL DIBUJO

MedingToy - Vistas 2

FECHA

20/05/2024

DIBUJO

3

