



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE BIOMEDICINA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ESTIMULADOR DE TACTO PARA
EL SOPORTE EN EL APRENDIZAJE DE LECTURA DE LENGUAJE
BRAILLE**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniera Biomédica

AUTORA: MARÍA ISABEL CHUYA CHUYA

TUTOR: ING. VLADIMIR ESPARTACO ROBLES BYKBAEV, PhD.

Cuenca - Ecuador

2023

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, María Isabel Chuya Chuya con documento de identificación N° 0107235764, manifiesto que:

Soy la autora y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 31 de julio del 2023

Atentamente,



María Isabel Chuya Chuya

0107235764

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, María Isabel Chuya Chuya con documento de identificación N° 0107235764, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del Proyecto técnico: “Diseño y construcción de un estimulador de tacto para el soporte en el aprendizaje de lectura de lenguaje Braille”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniera Biomédica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 31 de julio del 2023

Atentamente,



María Isabel Chuya Chuya


0107235764

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Vladimir Espartaco Robles Bykbaev con documento de identificación N° 0300991817, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ESTIMULADOR DE TACTO PARA EL SOPORTE EN EL APRENDIZAJE DE LECTURA DE LENGUAJE BRAILLE, realizado por María Isabel Chuya Chuya con documento de identificación N° 0107235764, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 31 de julio del 2023

Atentamente,



Ing. Vladimir Espartaco Robles Bykbaev, PhD.

0300991817

AGRADECIMIENTOS

Primero quiero agradecer a Dios por darme la fuerza y vida para concluir con esta gran etapa de mi vida, y las personas que me acompañaron en este largo proceso.

Quiero expresar mi gratitud de manera especial a mi familia, mi mami Rosa y mi hermano Eduardo por ser siempre mi apoyo, mi pilar fundamental y darme la oportunidad de estudiar. A mi papi Gonzalo por siempre acompañarme con consejos a pesar de la distancia y darme también la oportunidad de estudiar.

Quiero agradecer a mis padrinos y padres Ximena, Hernán, Carmen y Fabián por ser un ejemplo de superación desde pequeña. También al resto de mi familia agradezco que siempre me supieron dar una palabra de aliento cuando los visitaba.

También agradezco al P. Juan C. y al Oratorio Don Bosco por formar parte de mi vida desde muy pequeña y enseñarme el espíritu salesiano, que fue el que me formó y ayudó llegar hasta aquí.

A mis amigos por escucharme, aconsejarme y darme su apoyo en todo este tiempo, de una manera especial a Carito, Andrés, José y Juandy, siendo un ejemplo para mí, mis queridos Ings.

Agradezco a mi tutor, el Ing. Vladimir Robles, por todo el apoyo, aprecio y paciencia que siempre ha tenido conmigo desde que me conoció y en este proyecto, gracias por compartir sus conocimientos y ayudarme a encontrar la solución en todo este proceso.

Agradezco a la UPS por brindarme espacios donde explotar mis potenciales y resolver mis dudas, de manera especial a cátedra UNESCO, GI-IATA, IEEE EMB y StartLabs, agradezco la confianza que me brindaron desde el inicio y prometo seguir ayudando a las personas que más lo necesitan.

Agradezco a todos mis docentes de la Carrera de Biomedicina que siempre supieron escucharme y solventar mis dudas, y docentes de otras carreras que conocí conforme el paso del tiempo.

María Isabel Chuya Chuya

DEDICATORIA

Deseo dedicar esto a Dios, quien me dio el don de la vida, la inteligencia y camino para terminar el proyecto, sé que es el inicio de mi camino de cumplir todos mis sueños.

Este logro le dedico a mi mami Rosa, porque sacrifico muchos años de su vida para darme todo el estudio, siendo una madre soltera y frente a todas las adversidades de la vida.

A mi hermano Eduardo, quien es lo más importante de mi vida, que lo vi crecer, esforzándose por todo y me enseña el valor de la vida, un modelo a seguir siempre.

A mi papi Gonzalo, quien a pesar de la distancia encontró la forma de estar conmigo y apoyarme en todos mis sueños, sé que es muy difícil estar separados a kilómetros, pero dedico este proyecto por todo el sacrificio que hizo.

A mis guaguas Juanjo, Ale y Sofía, que aún les espera un largo camino por la vida, les dedico este triunfo a pesar de aún no entender cuan valioso es, pues han sido mi felicidad desde que nacieron, y le dan sentido a mi vida.

Dedico esto a mis demás hermanos, a pesar de la distancia mi cariño hacia ellos es grande, que admiro de cada uno sus virtudes y valores Diego, Mishell, Angélica, Cristhopher, Nayeli y Matías.

También dedico este trabajo una de mis grandes amigas, Nathy, ella fue parte del proceso y se merece todo lo mejor y esto es también para ella.

Dedicado al amor de mi vida.

Por último, me dedico esto a mí, por el esfuerzo que tuve, a pesar de todo lo que ha pasado en mi vida, no deje que eso me destruyera y logre salir adelante, siempre buscando la fuerza de voluntad y la ayuda de Dios.

Maria Isabel Chuya Chuya

RESUMEN

El proyecto técnico actual consiste en diseñar y construir un prototipo de un dispositivo electromecánico para el soporte en el aprendizaje de lectura Braille. A través de una investigación con docentes Braille, se evaluaron las necesidades y problemas De los individuos con deficiencia visual que comienzan a aprender esta nueva etapa de aprendizaje, así como las herramientas que pueden solucionar estos problemas, como este prototipo. Se ha demostrado que la lectura Braille puede ser difícil que la escritura debido al intercambio de superficies y la falta de desarrollo o agudización del tacto. Por tanto, las personas que están dentro de esta condición necesitan acceso a herramientas que faciliten el aprendizaje y/o enseñanza, y materiales educativos para desarrollar su conocimiento. Además, se ha demostrado que estas personas no poseen recursos para fortalecer su lectura, como resultado, el proyecto técnico actual describe un método innovador para la estimulación del tacto como soporte para la enseñanza de lectura Braille. Adicionalmente, un plan de experimentación con docentes de Braille se utiliza para evaluar el prototipo del dispositivo y su funcionamiento.

Palabras Clave: Estimulación del tacto, Braille, electromecánico, discapacidad visual, traductor.

ABSTRAC

The current technical project consists of designing and building a prototype of an electromechanical device to support the learning of Braille reading. Through research with Braille teachers, the needs and problems of visually impaired individuals who begin to learn this new stage of learning were evaluated, as well as the tools that can solve these problems, such as this prototype. It has been shown that Braille reading can be difficult than writing due to the interchange of surfaces and lack of tactile development or acuity. Therefore, people who are within this condition need access to tools that facilitate learning and/or teaching, and educational materials to develop their knowledge. In addition, it has been demonstrated that these people do not have resources to strengthen their reading, as a result, the current technical project describes an innovative method for the stimulation of touch as a support for the teaching of Braille reading. Additionally, an experimentation plan with Braille teachers is used to evaluate the prototype of the device and its performance.

Keywords: Stimulation of touch, Braille, electromechanical, visual impairment, translator.

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	9
ANTECEDENTES DEL PROBLEMA DE ESTUDIO	10
JUSTIFICACIÓN (IMPORTANCIA Y ALCANCES)	11
DELIMITACIÓN	12
<i>ESPACIAL O GEOGRÁFICA</i>	12
<i>TEMPORAL</i>	12
<i>SECTORIAL O INSTITUCIONAL</i>	12
OBJETIVOS	13
OBJETIVO GENERAL	13
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
CAPITULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA O ESTADO DEL ARTE	14
1.1. <i>SUSTENTO TEÓRICO</i>	14
1.1.1. <i>Discapacidad visual</i>	14
1.1.2. <i>Sistema Braille</i>	14
1.1.3. <i>Alfabeto Braille</i>	15
1.1.4. <i>Estimulación de tacto</i>	16
1.1.5. <i>Sistema electromecánico</i>	16
1.1.6. <i>Micromotores a paso</i>	17
1.1.7. <i>Micro servomotor</i>	17
1.2. <i>PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN VINCULADOS</i>	19
CAPÍTULO 2: MARCO METODOLÓGICO	20
2.1. <i>VALIDACIÓN DEL DISEÑO ANTES DE SU CONSTRUCCIÓN</i>	20
2.2. <i>DISEÑO DE PROTOTIPOS</i>	25
2.2.1. <i>Flujograma de prototipos</i>	25
2.2.2. <i>Arquitectura de los prototipos del Estimulador de Tacto</i>	25
2.2.3. <i>Conexión Motores</i>	26
2.2.4. <i>Diseño mecánico de los prototipos</i>	27
2.3. <i>PROTOTIPO FINAL</i>	29
2.3.1. <i>Flujograma Estimulador de tacto</i>	29
2.3.2. <i>Arquitectura del Estimulador de tacto</i>	30
2.3.3. <i>Conexión Servomotores</i>	31
2.3.4. <i>Diseño del Estimulador de tacto</i>	32
2.4. <i>PLAN DE EXPERIMENTACIÓN</i>	36
CAPÍTULO 3: RESULTADOS	38
3.1. <i>ENSAMBLE ELECTROMÁCANICO</i>	38
3.2. <i>ANÁLISIS ESTADÍSTICO PLAN DE EXPERIMENTACIÓN</i>	38
CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO	41
4.1 <i>CONCLUSIONES</i>	41
4.2 <i>TRABAJO FUTURO</i>	41
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
ANEXOS	45

INTRODUCCIÓN

La Organización Mundial de la Salud (OMS) afirma que alrededor del mundo, como mínimo 2.200 millones de personas padecen problemas de visión de cerca o lejos. De estos, 1.00 millones de personas son aquellas con discapacidad visual de lejos moderada o severa o ceguera debido a errores de refracción no corregidos (88,4 millones), cataratas (94 millones), degeneración macular relacionada con la edad (8 millones), glaucoma (7,7 millones), retinopatía diabética (3,9 millones), así como deterioro de la visión cercana causado por presbicia no corregida (826 millones) (*Organización Mundial de la Salud, 2022*).

Dentro del Ecuador, según la CONADIS, aprendiendo Braille las personas con deficiencia visual se incorporan a la vida académica, posterior a esos se relacionan con algunas tecnologías que permiten mejorar el aprendizaje e inclusión a la ciudad. Sin embargo, de acuerdo a las cifras de la Secretaría Técnica de Discapacidades, solo el 3,58% de ciudadanos con discapacidad visual en Quito utilizan el sistema Braille (*Secretaría Técnica de Discapacidades, 2014*).

Por ello, en este proyecto técnico se presenta una nueva herramienta para individuos con discapacidad visual en proceso de conocer el Sistema Braille, según los docentes: un dispositivo Estimulador de tacto que permite el soporte en el aprendizaje de lectura, de forma en que facilite la lectura en cualquier superficie de una manera más adecuada. Una de las dificultades que solventa este dispositivo son las siguientes:

- El Estimulador de tacto de lectura Braille es de bajo costo y un software libre (C) y hardware abierto (Arduino Mega).
- Se envía mediante el computador la letra que desea reforzar la persona con discapacidad visual, y se transforma en simbología Braille en escala real.
- Estimulación de tacto al leer la letra enviada al dispositivo, la misma donde los relieves se encontrarán levantados durante un limitado tiempo con el fin de estimular el tacto, facilitando una futura lectura en otras superficies.

La funcionalidad y diseño del dispositivo ha sido validada con 3 docentes expertos en el sistema Braille mediante un plan de experimentación. Es importante mencionar se trabajó solo con docentes expertos en el área, puesto que conocen muy bien las dificultades al momento del aprendizaje de lectura Braille. Esta característica nos permitió descubrir que el dispositivo estimulador de tacto funcione de manera adecuada en la enseñanza de lectura Braille, además de en un trabajo futuro cuáles son los aspectos que se pueden mejorar e implementar.

ANTECEDENTES DEL PROBLEMA DE ESTUDIO

Dentro del Ecuador existen 471 205 ciudadanos ecuatorianos con discapacidad registrados en el CONADIS, sin duda una cifra significativa para el país. En estas cifras se evidencian los diferentes tipos de discapacidad que priman en el país, física, intelectual, auditiva, visual y psicosocial, siendo la que tiene más registrados véase la Figura.1. (*Estadísticas de Discapacidad, 2022*).

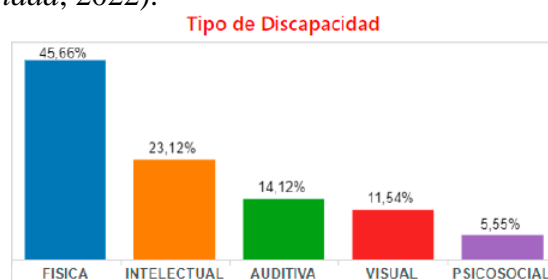


Figura 1. Estadísticas de Discapacidad: Tipo de discapacidad en el Ecuador (*Estadísticas de Discapacidad, 2022*)

Nota: Estadísticas del tipo de discapacidad en Ecuador según la CONADIS 2022.

La discapacidad visual dentro del país representa un porcentaje del 11,54%, siendo este un equivalente a 54,397 ciudadanos con discapacidad visual dentro del Ecuador, según datos estadísticos del CONADIS (*Estadísticas de Discapacidad, 2022*).

Las personas que pierden la visión de manera progresiva, se les dificulta el aprendizaje Braille, puesto que sus sentidos aún no se encuentran agudizados en su totalidad, como concluye Lotfi Merabet, los coautores del estudio, “Incluso en presencia de ceguera severa, el cerebro se reactiva de tal manera que puede usar la información para interactuar con el medio ambiente de una manera más eficiente. Si el cerebro puede configurarse a sí mismo a través del entrenamiento y un mayor uso de otras modalidades, como la audición y el tacto y tareas del lenguaje, como leer Braille, esto significa que el cerebro tiene un enorme potencial de adaptación” (*Bauer et al., 2017*).

JUSTIFICACIÓN (IMPORTANCIA Y ALCANCES)

Dentro de la última década, el avance tecnológico ha permitido generar herramientas tecnológicas de asistencias, es decir, tecnología de asistencia a individuos con discapacidad visual. Estas herramientas también ayudan dentro de la metódica de enseñanza del lenguaje Braille para leer y escribir, lo que ha generado múltiples recursos para aprender y comprender todos los procesos (*Dussán, M. A., 2003*). Estos métodos de enseñanza han pasado de manera rústica y sin técnicas a desarrollar tecnología de asistencia, sin embargo, estos métodos de enseñanza conllevan mucho tiempo y no se ponen de lado de las verdaderas necesidades de la población con discapacidad visual (*Loza Peñaloza, 2007*).

Es muy difícil fomentar la lectura en Braille, ya que para su aprendizaje es necesario la lectura comprensiva, es decir, cuando una letra tiene más puntos se dificulta su comprensión, por lo que el material actual es antiguo o anticuado, por lo que no ayuda a mejorar la lectura (*Morales Ma del Carmen, 2016*).

Es decir, la población con discapacidad visual que se encuentran en proceso de enseñanza de lectura de lenguaje Braille se dificulta su comprensión, el Grupo de Investigación en Inteligencia Artificial y Tecnologías de Asistencia (GI-IATa) y Cátedra UNESCO “Tecnologías de apoyo para la Inclusión Educativa” busca tecnología para auxiliar a personas en estado de vulnerabilidad, en este caso personas en situación de discapacidad visual o discapacidad visual progresiva.

Por lo que se propone diseñar un prototipo de un “Estimulador de tacto para el conocimiento de lectura de lenguaje Braille”, el cual permitirá aprender a leer el lenguaje Braille a través de estimulación de tacto, se reconocerá el texto y lo enviará al prototipo traducido a Braille, este mecanismo también permitirá un conocimiento autodidacta.

DELIMITACIÓN

El diseño del dispositivo biomédico y problema de estudio se delimitará en un enfoque social, formando parte de la rehabilitación de adultos o estudiantes universitarios en estado de discapacidad visual y discapacidad visual progresiva que no conocen el Sistema Braille, el cual es presentado en las siguientes dimensiones:

Espacial o geográfica

El siguiente estudio y diseño se realizará en la Ciudad de Cuenca, provincia del Azuay, Ecuador, dentro de las instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana (Biblioteca, Cátedra UNESCO Tecnologías de apoyo para la Inclusión Educativa, GI-IATa).

Temporal

El estudio y diseño del estimulador de tacto para lectura del sistema Braille tuvo una duración de 5 meses a partir de la aprobación de su Anteproyecto mediante el Consejo de Carrera de Biomedicina.

Sectorial o institucional

El estudio y ejecución de diseño se delimitará al sector expertos, es decir docentes del Sistema Braille y en situación de discapacidad visual dentro de la Universidad Politécnica Salesiana y la Universidad Nacional de Educación.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Diseñar y construir un estimulador de tacto para el soporte en la enseñanza del lenguaje Braille para personas no videntes con base a sistemas electromecánicos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar requerimientos mediante historias de usuario en situación de discapacidad visual para levantamiento de información validando el diseño antes de su construcción.
- Diseñar y desarrollar un software y hardware mediante un sistema electromecánico y microcontrolador para un dispositivo de estimulación de tacto para el soporte en la enseñanza del lenguaje Braille.
- Elaborar un plan de experimentación que permita determinar la percepción de expertos con relación a las funcionalidades del dispositivo estimulador.
- Establecer líneas futuras de investigación con base a los resultados iniciales.

CAPITULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA O ESTADO DEL ARTE

1.1. Sustento Teórico

1.1.1. Discapacidad visual

Se refiere a las consecuencias de las actividades de un individuo desde una perspectiva funcional, y la discapacidad se define como una limitación física o psíquica que no le permite a un individuo relacionarse con el medio social, resultando en una discapacidad (Saucedo et al., 2016).

La discapacidad visual engloba todos los niveles de pérdida de visión hasta llegar a su total deficiencia, desde la ceguera total hasta los parcialmente deficientes (Saucedo et al., 2016). Implica el órgano que proporciona visión, los ojos; es difícil participar y acceder a varias actividades cotidianas y sus entornos. (Comisión Braille Española, 2014b)

Por otra parte, afecta a gran parte de la población mundial adulta a comparación de los niños y adolescentes, mediante enfermedades primarias, congénitas o idiopáticas; denominada también como el deterioro visual, entre pérdida progresiva o ausencia total de la visión, de acuerdo con el conocimiento epidemiológico y etiológico (Escudero, 2011).

1.1.2. Sistema Braille

Louis Braille nació el 4 de enero, 1809 en Coupvray, Francia. En 1825, Louis Braille desarrolló su sistema de puntos en relieve denominado Braille debido a un accidente que lo hizo perder la vista a los tres años, al asistir a una escuela no apta para su nueva realidad desarrollo su audio, capacidad de memoria notable y permitió afinar su capacidad del tacto, lo que fue una inspiración para su sistema (Comisión Braille Española, 2014d; National Braille press, 2018).



Figura 2. Un retrato de Louis Braille sobre marfil de Lucienne Filippi. (National Braille press, 2018)

El Sistema Braille es conocido también como cecografía, proporcionaba a los ciegos un medio eficiente para leer, escribir y adquirir educación, cultura e información sin la vista, solo con el tacto (Rueda, 1993). El sistema Braille es un método de alfabetización establecido como sistema educativo para la población con discapacidad visual. (Comisión Braille Española, 2014d)

1.1.3. Alfabeto Braille

Es un sistema universal adoptado con seis puntos ubicados y numerados de la siguiente manera ((*Rueda, 1993*), que se observa en la Figura.3.

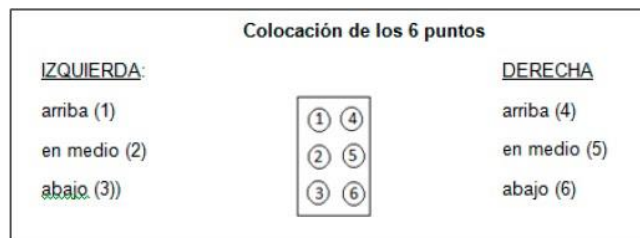


Figura 3. Colocación de los 6 puntos dentro del lenguaje Braille (*Aprendizaje del sistema BRAILLE | AC02.- Los sistemas de comunicación con ayuda., 2023*)

Nota: Colocación de los 6 puntos que caracterizan al lenguaje Braille para formar las 64 combinaciones, entre letra, números y simbología.

Las combinaciones de seis puntos proporcionan 64 combinaciones diferentes, incluidas combinaciones sin puntos, espacios utilizados para separar y diferencias palabras, números, etc., la misma permite identificar el símbolo y letra, en la Figura. 4 observamos el alfabeto Braille (*Comisión Braille Española, 2014a; Rueda, 1993*).

Alfabeto braille

a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
⠁	⠃	⠉	⠑	⠗	⠋	⠎	⠈	⠇	⠊
k	l	m	n	o	p	q	r	s	t
⠅	⠇	⠍	⠏	⠕	⠋	⠏	⠗	⠎	⠞
u	v	x	y	z	ñ	w			
⠥	⠦	⠨	⠣	⠚	⠞	⠵			

Figura 4. Alfabeto Braille (*Comisión Braille Española, 2014a*)

Para formar los caracteres Braille se debe emplear las medidas determinadas para su correcta lectura, en la Figura. 5. Observamos los parámetros dimensionales de los caracteres Braille establecido por la Comisión Braille Española (*Comisión Braille Española, 2014c*).



Figura 5. Medidas de la celda de Braille en el Documento técnico B 1. Parámetros dimensionales del Braille. (Comisión Braille Española, 2014c)

1.1.4. Estimulación de tacto

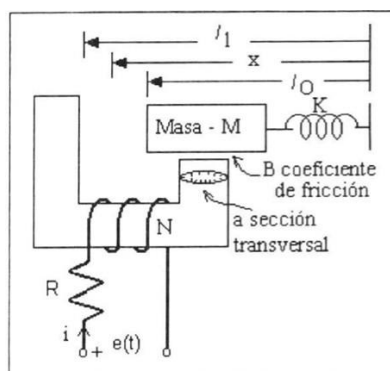
El tacto es más importante que la audición en los individuos con deficiencia visual, ya que es una manera de explorar el mundo que les rodea el desarrollar la capacidad cognitiva y social de una persona con restos visuales varía según los diferentes tipos de ceguera, por lo que se diferencia el de una persona con ceguera total. La estimulación sensorial antes de iniciar a vida educativa es fundamental para su desarrollo (UNIR, 2020).

Es crucial estimular algunos pensamientos del usuario, especialmente los interesantes, para que pueda aceptar toda la información que le rodea, además tener materiales con los que puedas trabajar, estos materiales ayudan aprender Braille (UNIR, 2020). La mano dominante o las manos solas no contienen toda la sensibilidad táctil. Toda la piel de nuestro cuerpo, en cierta medida, funciona como receptor de la sensibilidad táctil, térmica o dolorosa. Para los ciegos, este sentido es importante para comprender su entorno. (Medina Raya. A., 2009)

1.1.5. Sistema electromecánico

Un sistema electromecánico se constituye por un grupo de elementos característicos como: ejes, motores, poleas u otros elementos que al ejecutarse sirven para ejercer una función específica, ya sea desplazar una carga, aplicar fuerza o elevar un elemento. Este sistema se basa en elementos mecánicos controlados por electrónica o electromagnetismo (González Coneo & Quiroz Mariano, 2010).

Un ejemplo de aplicación es un relé electromecánico, que consiste en analizar y encontrar solución a un problema empleando distintos métodos, puede ser modelado con parámetros concentrados, el ejemplo de aplicación se muestra en la Figura. 6. (Sarmiento Maldonado, H. O., & Álvarez Sánchez, J. L., 1999)



1.1.6. Micromotores a paso

Los micromotores a pasos están diseñados para poder soportar cargas livianas y acoplarse a lugares que requieran poco espacio. Internamente están diseñados de dos fases 4 alambres siendo un motor bipolar, es decir corresponde e 2 bobinas, para identificar cada bobina se muestra en la Figura. 7. Su alimentación va desde 1.5V a 3V tiene un eje de salida de 0.8mm e incluye una manda de rodamientos (Conti, 2005).

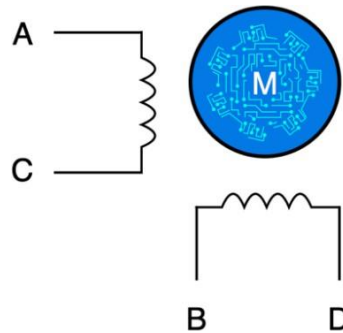


Figura 7. Ubicación de cables que corresponden con cada bobina (Mecatrónica LATAM, 2021)

El movimiento de este motor se genera en función a los campos magnéticos generados en las bobinas. Este convierte los impulsos eléctricos que recibe en sus terminales en movimientos angulares. Estos son eficaces cuando se requiere un nivel de precisión y repetitividad (Conti, 2005; Mecatrónica LATAM, 2021).

En la Figura. 8. se observa la secuencia en la que trabajan los micromotores a paso, cabe recalcar que la secuencia de un motor a pasos es la misma de un micromotor a pasos (Electronic Components, 2020).

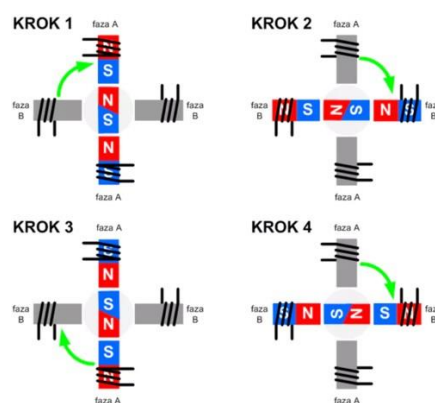


Figura 8. Secuencia de motor a pasos (Electronic Components, 2020).

1.1.7. Micro servomotor

Los micros-servos motores son diseñados para acoplarse a lugares que requieran poco espacio, es un sistema compuesto por factores electrónicos y mecánicos, lo que permite su movimiento. Los servomotores solo permiten un movimiento de 180° grados, ya sea izquierda o derecha. Internamente están diseñados de un motor eléctrico que produce el movimiento en su eje, un sistema de regulación mediante engranajes el mismo permite regular la v velocidad y par, un sistema de control para la acción del motor, y un potenciómetro. Su alimentación va desde 4V a 8V además de un eje de rendimiento controlado (Área Tecnología, s/f; Automación, 2017).

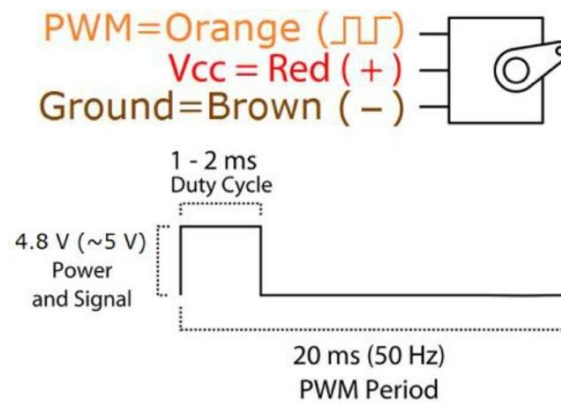


Figura 9. Datasheet micro servo motor SG90 (SERVO MOTOR SG90 DATA SHEET, 2020)

El movimiento del servomotor lo generan impulsos eléctricos según los campos magnéticos producidos por los sistemas, lo que determina la posición angular del motor. El motor al recibir los pulsos de entrada toma su nueva ubicación dependiendo de cantidad de pulsos recibidos, por esta razón el voltaje debe ser proporcional a la distancia que necesita el usuario que gire el motor. (Área Tecnología, s/f; González, 2002)

Para el funcionamiento del servo motor se necesita el control PWM, fundado en la técnica de modulación controlando el ancho de los pulsos, siendo uno de los más utilizados. El sistema produce una señal de forma cuadrada que ajusta la duración de los pulsos de manera variable, cuando esté en 0 y 1. Esta comunicación permite establecer los grados de movimiento dependiendo el ancho de pulso. (González, 2002)

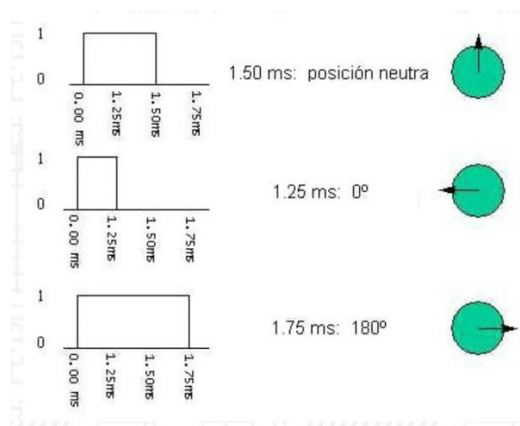


Figura 10. Variación de ángulos según el ancho de pulso (González, 2002)

1.2. *Proyectos de investigación vinculados*

• **Asistente Robótico para el soporte en la enseñanza del lenguaje Braille en niños de 6 a 8 años**

El prototipo robótico se basa en asistentes robóticos y cubos Braille, el niño coloca el cubo en el robot mientras aprende y el robot identifica a través del sistema de símbolos gatorios qué letra seleccionó y realiza una estimulación auditiva para indicar si ha realizado el ejercicio correctamente (*Guzhñay Lucero, 2018*).

• **Prototipo de línea Braille de bajo costo para personas con discapacidad visual**

El protocolo de pantalla Braille permite a las personas con deficiencia visual de 18 a 65 años leer documentos, libros y correo electrónico, usando la vista Tyflotechnology y máquinas digitales Perkins. Proporciona información, comunicación y autodidacta, permitiendo a las personas ciegas participar más en el lugar de trabajo y académico, además de ser característico con un costo menor a los dispositivos Braille que llegan a ser comercializados (*Cabrera Hidalgo, 2018*).

• **Diseño y Construcción de un dispositivo para el aprendizaje de escritura en el Sistema Braille**

El dispositivo consta de 6 botones que funcionan simultáneamente y tienen dos modos de uso al operar el dispositivo: lectura y escritura.

Para casos seleccionados, el docente se encarga de operar 6 botones de acuerdo con las letras del abecedario, el usuario puede sentir que los botones tienen una sensación de relieve, y a través del audio, el dispositivo puede reproducir las letras escritas o se deben leer en tres idiomas, español, inglés y quechua (*Pillacela Pillacela & Jumbo Sedamanos, 2021*).

• **A Multifunction Braille Trainer Based on Embedded Systems, Mobile Apps, Rule-based Reasoning and Data Mining for Children with Visual Impairment**

El entrenador Braille consta de tres componentes básicos: una aplicación Braille móvil que permite programar y registrar encuentros de trabajo con niños, un módulo de microservicio encargado de la gestión de datos, y un dispositivo electrónico Braille utilizado por niños y maestros (*Robles-Bykbaev et al., 2018*).

CAPÍTULO 2: MARCO METODOLÓGICO

La metodología empleada dentro de este proyecto técnico se realizó en tres etapas: 1. Investigación los requerimientos mediante historias de usuario (docentes), donde se validó el diseño antes de su construcción. 2. Diseño de prototipos. 3. Diseño del prototipo final y construcción del dispositivo estimulador de tacto para lectura Braille, siendo soporte de enseñanza para personas con deficiencia visual, introduciéndose al sistema Braille. 4. Plan de experimentación para la validación del dispositivo por expertos (docentes).

2.1. Validación del Diseño antes de su Construcción

El proceso de validación del dispositivo antes de su construcción se realizó mediante un levantamiento de información o requerimientos mediante historias de usuarios, donde Docentes del sistema Braille con discapacidad visual son usuarios expertos.

Se desarrolló una entrevista donde se plantearon preguntas respecto a su situación de vida, necesidades y herramientas que necesitaban para la etapa de aprendizaje de lectura Braille a raíz de su experiencia como docentes, además de la presentación de características que podrían presentar el diseño del dispositivo. Siendo así donde sugerían la funcionalidad y utilidad del dispositivo para su previo diseño.

El modelo de preguntas de la Entrevista realizada a los 3 docentes expertos del Sistema Braille, se pueden observar a continuación en la Figura. 11., las mismas fueron planteadas de manera oral.

Preguntas de entrevista de historias de usuario para validación de diseño antes de su construcción							
Nombres/Apellidos:		Años de Docencia:					
		Totalmente de acuerdo	Deacuerdo	Ni de acuerdo ni desacuerdo	En desacuerdo	Totalmente desacuerdo	
1	¿Considera que existe dificultad de aprendizaje de la lectura del lenguaje Braille en personas con discapacidad visual que no tienen conocimiento previo de este sistema de lectura?						
		Mucho	Bastante	Regular	Poco	Nada	
2	¿Cuántos dispositivos educativos para el aprendizaje del Braille cree usted que existen?						
3	¿Cuáles son los métodos de enseñanza de la lectura del lenguaje Braille que comúnmente se usan?						
		Totalmente de acuerdo	Deacuerdo	Ni de acuerdo ni desacuerdo	En desacuerdo	Totalmente desacuerdo	
4	¿Considera usted que es necesario el acompañamiento de un docente para el aprendizaje de lectura en lenguaje Braille?						
		Portabilidad	Retroalimentación háptica	Facilidad de uso	Bajo costo	Peso adecuado	Recargable Personalización
5	De las siguientes características, ¿cuáles considera usted que son las más apropiadas para un dispositivo de aprendizaje de la lectura en lenguaje Braille?						
		Totalmente de acuerdo	Deacuerdo	Ni de acuerdo ni desacuerdo	En desacuerdo	Totalmente desacuerdo	
6	¿Considera que un dispositivo con las características seleccionadas anteriormente sería útil para brindar soporte a su método de enseñanza de lectura del lenguaje Braille?						
		Totalmente de acuerdo	Deacuerdo	Ni de acuerdo ni desacuerdo	En desacuerdo	Totalmente desacuerdo	
7	¿Considera usted que la dificultad de aprendizaje de la lectura es la misma en niños y adultos?						
		Totalmente de acuerdo	Deacuerdo	Ni de acuerdo ni desacuerdo	En desacuerdo	Totalmente desacuerdo	
8	¿Considera usted que el tipo de discapacidad visual, si es adquirida o de nacimiento, influye en el aprendizaje del lenguaje Braille?						
		Totalmente de acuerdo	Deacuerdo	Ni de acuerdo ni desacuerdo	En desacuerdo	Totalmente desacuerdo	
9	¿Cree usted que el dispositivo a construir permitirá el autoaprendizaje de lectura de lenguaje Braille?						
10	¿Cuáles son las técnicas de apoyo para que una persona con pérdida visual adquirida pueda adaptarse a su nueva condición?						

Figura 11. Formato entrevista de historias de usuario

A partir de las respuestas generadas por los docentes, se estableció sus características similares para definir el diseño del dispositivo y cuál es el problema más frecuente en el aprendizaje de lectura Braille. Las mismas son presentadas continuación mediante gráficas pastel, generadas con ayuda de Excel, observados de la Figura. 12 a la Figura. 21 individualmente cada pregunta. Las respuestas adquiridas de la entrevista son indispensables para continuar con la segunda etapa del diseño y construcción del dispositivo, según la metodología, además de validar el diseño previamente con expertos.

¿Considera que existe dificultad de aprendizaje de la lectura del lenguaje Braille en personas con discapacidad visual que no tienen conocimiento previo de este sistema de lectura?
3 respuestas

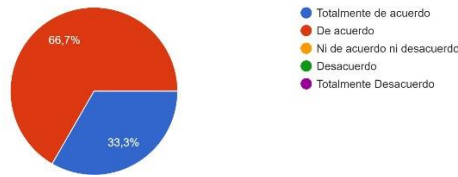


Figura 12. Primera pregunta entrevista historias de usuarios para validación del diseño antes de su construcción (Autor)

Nota: Los docentes expertos están de acuerdo y de acuerdo con que existe una gran dificultad al aprender a leer en Braille.

¿Cuántos dispositivos educativos para el aprendizaje del Braille cree usted que existen?
3 respuestas

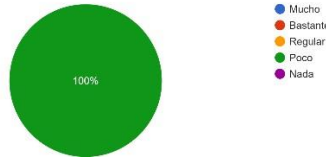


Figura 13. Segunda pregunta entrevista historias de usuarios para validación del diseño antes de su construcción (Autor)

Nota: Los docentes expertos llegan a la conclusión de que existen poco dispositivos electrónicos que ayuden al aprendizaje de lectura Braille.

¿Cuáles son los métodos de enseñanza de la lectura del lenguaje Braille que comúnmente se usan?
3 respuestas

- Métodos adaptados por el docente, según las necesidades del usuario
- Método series, punto punto
- Método general a lo particular. Paso por paso

Figura 14. Tercera pregunta entrevista historias de usuarios para validación del diseño antes de su construcción (Autor)

Nota: Los docentes expertos tiene métodos similares para la enseñanza del Sistema Braille, puesto que se adaptan desde lo más general hasta lo más particular según la necesidad del usuario.

¿Considera usted que es necesario el acompañamiento de un docente para el aprendizaje de lectura en lenguaje Braille?
3 respuestas

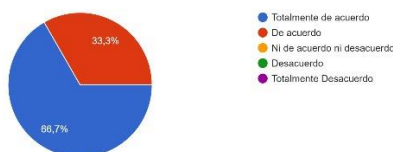


Figura 15. Cuarta pregunta entrevista historias de usuarios para validación del diseño antes de su construcción (Autor)

Nota: Los docentes expertos están de acuerdo en que se necesita acompañar docentes para la educación del Sistema Braille, ya que requieren una guía para aplicar cada método.

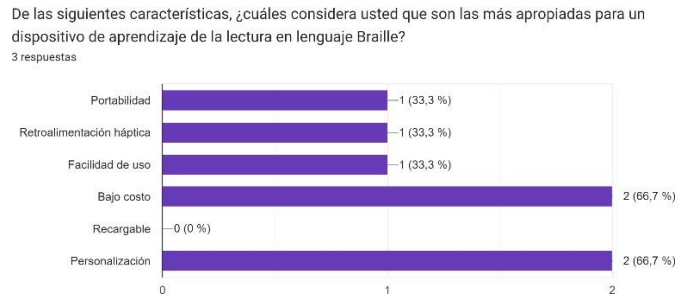


Figura 16. Quinta pregunta entrevista historias de usuarios para validación del diseño antes de su construcción (Autor)

Nota: Los docentes expertos establecieron las siguientes características que debería tener un dispositivo electrónico que ayude en la enseñanza del sistema Braille, donde se tomaron en cuenta para elaborar el diseño del estimulador de tacto.

¿Considera que un dispositivo con las características seleccionadas anteriormente sería útil para brindar soporte a su método de enseñanza de lectura del lenguaje Braille?
3 respuestas

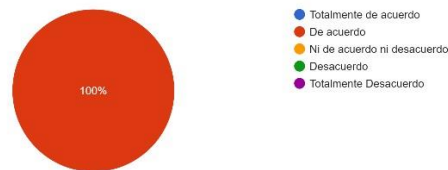


Figura 17. Sexta pregunta entrevista historias de usuarios para validación del diseño antes de su construcción (Autor)

Nota: Los docentes están de acuerdo en que las características seleccionadas antes servirán en un dispositivo de soporte de aprendizaje para lectura Braille, puesto que no existen muchas en el mercado e incluso en Ecuador.

¿Considera usted que la dificultad de aprendizaje de la lectura es la misma en niños y adultos?
3 respuestas

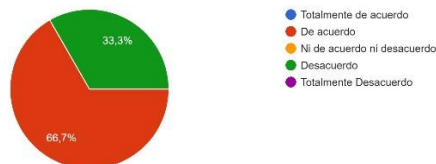


Figura 18. Séptima pregunta entrevista historias de usuarios para validación del diseño antes de su construcción (Autor)

Nota: La mayoría de los docentes considera que la dificultad de aprendizaje de lectura Braille es la misma tanto en niños como adultos, sin embargo, uno de los docentes considera que la dificultad difiere.

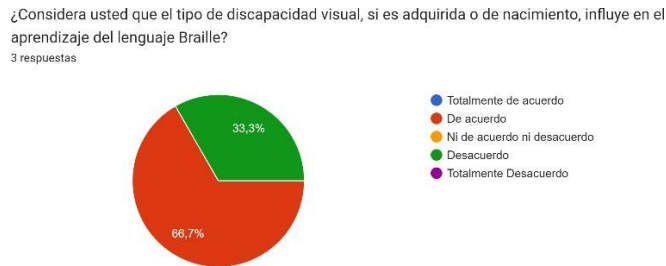


Figura 19. Octava pregunta entrevista historias de usuarios para validación del diseño antes de su construcción (Autor)

Nota: La mayoría de los docentes considera que si influye el tipo de discapacidad visual si es adquirida o de nacimiento, al contrario de un docente que comenta que no influye.

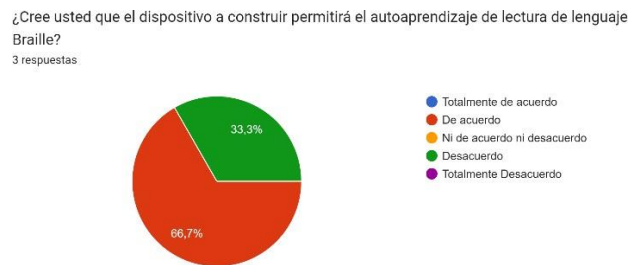


Figura 20. Novena pregunta entrevista historias de usuarios para validación del diseño antes de su construcción (Autor)

Nota: La mayoría de los docentes están de acuerdo que el dispositivo a construirse ayude a la estimulación de tacto para el soporte en el aprendizaje de lectura Braille.



Figura 21. Décima pregunta entrevista historias de usuarios para validación del diseño antes de su construcción (Autor)

Nota: Los docentes comentan las técnicas implementadas por ellos para apoyar a las personas con discapacidad visual adquirida.

La encuesta implementada para validación de diseño antes de su construcción sirvió para establecer el modelo, encontrar las dificultades de aprendizaje, además de complementar ideas para las futuras líneas de investigación en versiones posteriores del dispositivo estimulador de tacto.

2.2. Diseño de prototipos

2.2.1. Flujograma de prototipos

Para el desarrollo de los distintos prototipos del estimulador de tacto se utilizó el siguiente diagrama de flujo, observado en la Figura. 22. Se trabajó según el proceso y el orden del diagrama de flujo para los dos prototipos realizados previos al prototipo final, puesto que al presentar problemas en los diagramas se modificó los diseños para que su funcionalidad sea la esperada. Con ayuda del flujograma se desarrolló de manera más sencilla el proceso, puesto que al seguir el orden se logró encontrar los errores y problemas de los prototipos, además de solucionarlos.

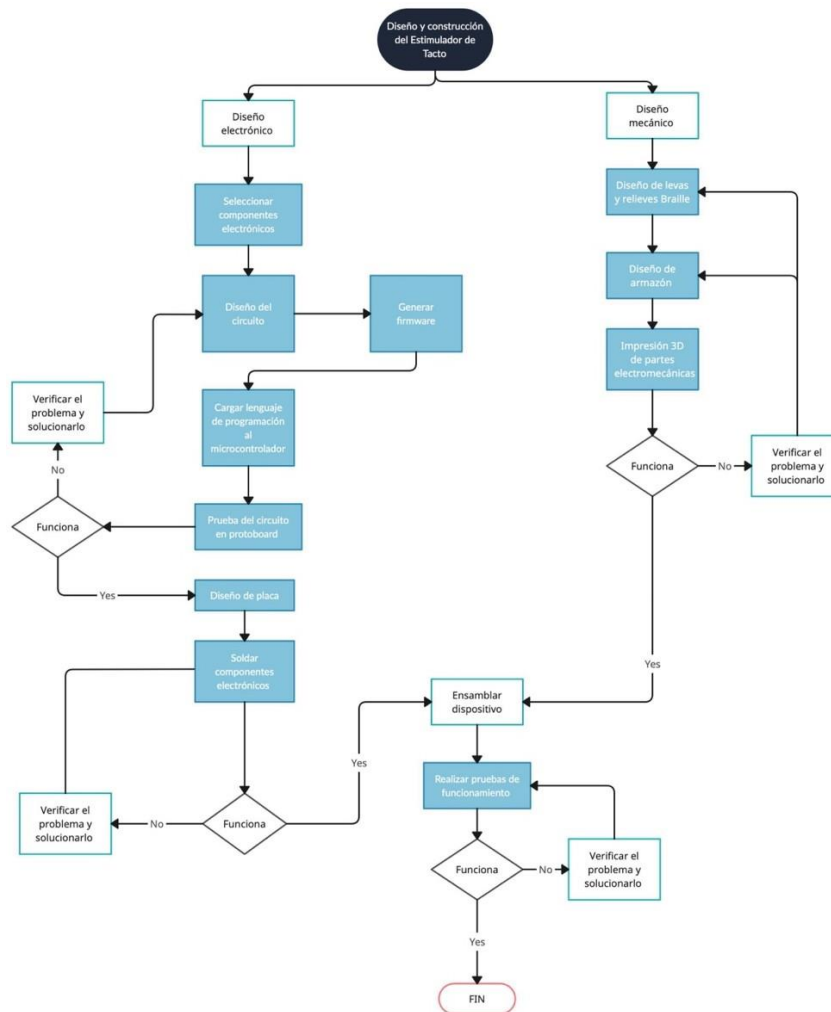


Figura 22. Flujograma de primeros prototipos del Estimulador de tacto Braille (Autor)

2.2.2. Arquitectura de los prototipos del Estimulador de Tacto

El estimulador de tacto, así como sus primeros prototipos, necesitaron de un sistema electromecánico para el movimiento de los relieves y transformación de las letras al sistema Braille.

Para cumplir con el desarrollo de la arquitectura tecnológica de los primeros prototipos donde se presenta la comunicación del Arduino con los motores para generar la simbología

Braille mediante los motores. A continuación, observamos en la Figura. 23 la arquitectura del Estimulador de tacto.

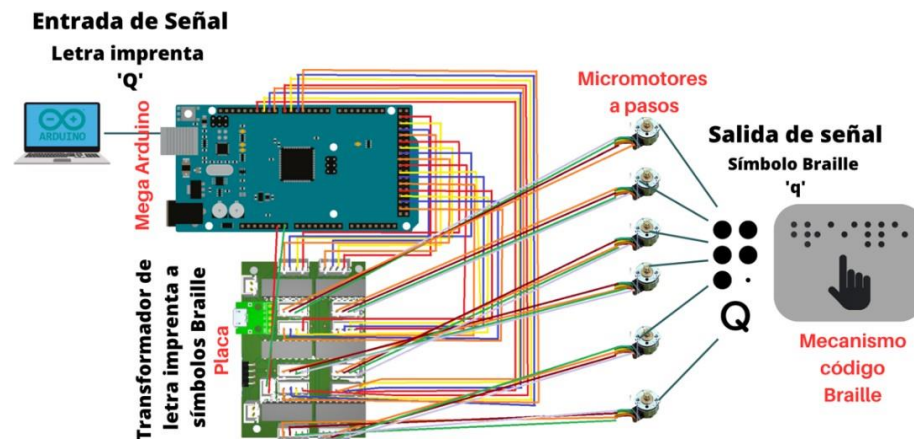


Figura 23. Arquitectura dispositivo Estimulador de tacto (Autor)

Los prototipos poseen un sistema central, una placa diseñada e impresa, donde están los drivers de los motores, un circuito integrado L293, que permite un funcionamiento más estable y seguro con el Arduino. Por otro lado, el Arduino Mega posee una comunicación en serie con la placa y sus drivers, donde se envía la señal de entrada, que tiene lugar a una letra impresa, y luego la transforma en simbología Braille. Los micromotores paso a paso los controla directamente el Arduino y la placa, ya que la señal enviada por el Arduino procesa el consumo energético y comportamiento de motores de manera estable, dependiendo de la señal enviada, los micromotores se accionan secuencialmente. Con ello, al utilizar de manera consecutiva los motores siendo importantes, tendrán un registro de respuestas sin correr el riesgo de generar un alto porcentaje de falla. Además de una fuente de alimentación externa, ya que los micromotores necesitan de una fuente externa y segura 5 V 2 A. Las letras o palabras se envían mediante el “serial monitor” del programa Arduino.

2.2.3. Conexión Motores

Para el funcionamiento de los motores en los primeros prototipos es generado mediante una programación realizada letra por letra, puesto que los 6 motores se mueven dependiendo del carácter. Tomando en cuenta el alfabeto del sistema Braille, creando así una librería la cual envía el carácter, es decir la letra impresa que se desea interpretar en Braille y establece el movimiento de los motores ya convertidos en Braille.

Para que funcione los motores y tenga comunicación con los drivers y Arduino, es necesario el diseño de una placa electrónica, que permita suministrar la cantidad de corriente necesario para las bobinas de cada motor. El esquema electrónico para los motores y comunicación se puede observar en la Figura. 24, y el diseño 3D de la placa para su debida impresión y soldado en la Figura. 25.

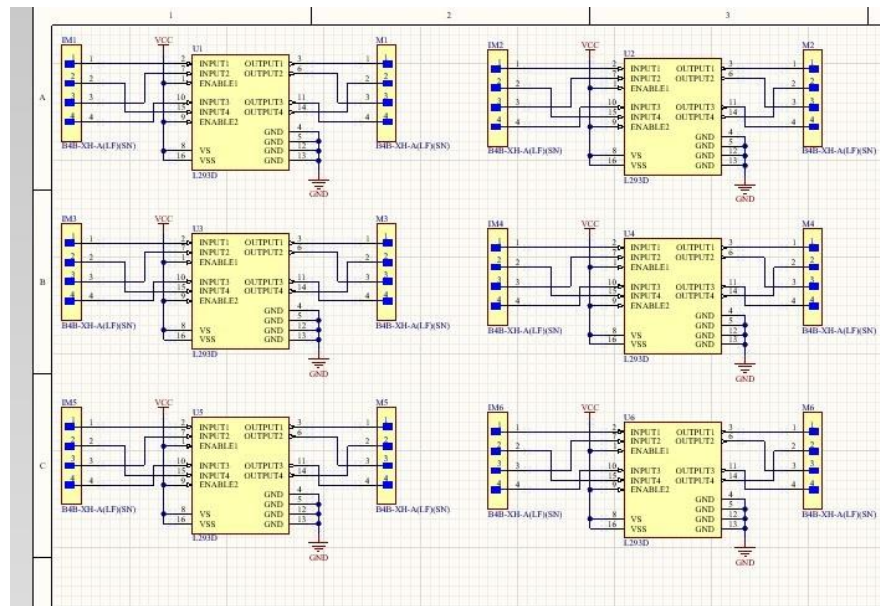


Figura 24. Esquema eléctrico Altium Designer (Autor)

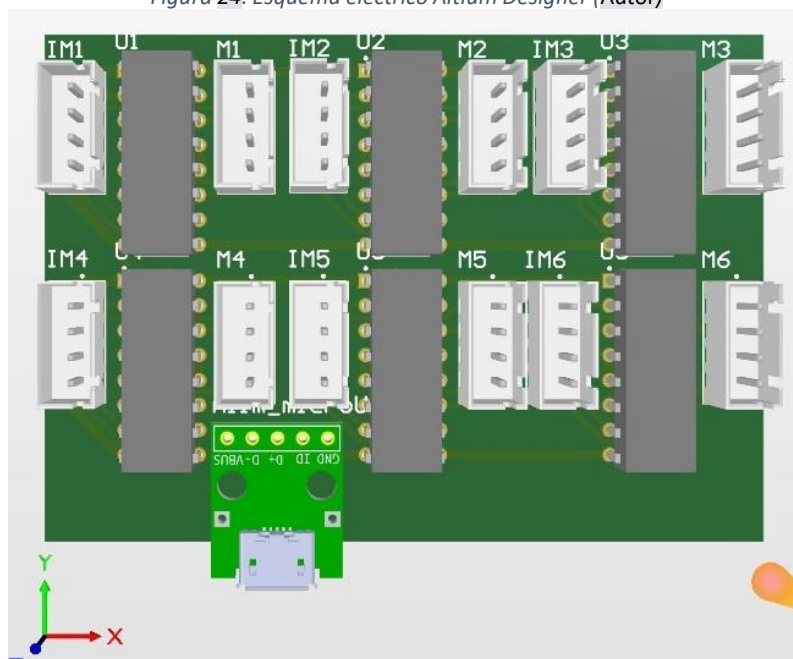


Figura 25. Placa 3D diseño en Altium Designer (Autor)

2.2.4. Diseño mecánico de los prototipos

Todos los diseños mecánicos y la estructura para los componentes electrónicos son diseñados en el software Autodesk Fusion 360 2023, ya que permiten ensamblar, simular y diseñar diferentes estructuras. Para cada prototipo de diseño un espacio para el Arduino Mega, placa, soportes para los micromotores y relieves para el Sistema Braille.

Dentro del primer prototipo se observa el siguiente mecanismo en la Figura. 26. Este mecanismo posee dos soportes, para los motores y brazos que son los relieves, además de la leva que permite el movimiento mecánico del mismo. En la figura. 27 se observa el sistema implementado e impreso. Las levas y relieves en este prototipo fueron impresos en resina por su tamaño, puesto que necesitaba gran exactitud en su forma por ser tan pequeños

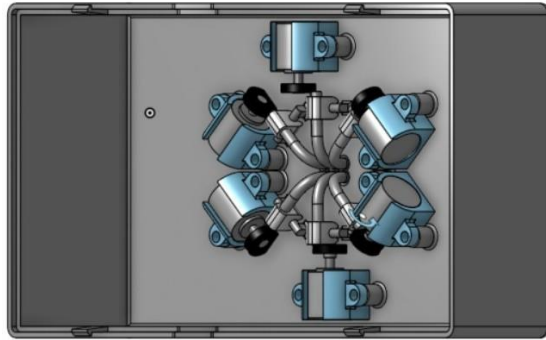


Figura 26. Diseño primer prototipo soportes, levas, relieves y micromotor paso a paso (Autor)



Figura 27. Impresión primer prototipo soportes, levas, relieves y micromotor paso a paso (Autor)

Sin embargo, por problemas de movimiento de levas y fuerza del motor, se desarrolló el segundo prototipo del sistema mecánico, el mismo se puede observar en la Figura. 28. El segundo prototipo pretende facilitar el movimiento de los motores para que no necesite tanta potencia y fuerza, pero el micromotor aún no posee fuerza suficiente para moverse. En la Figura. 29. Se observa el sistema impreso e implementado.

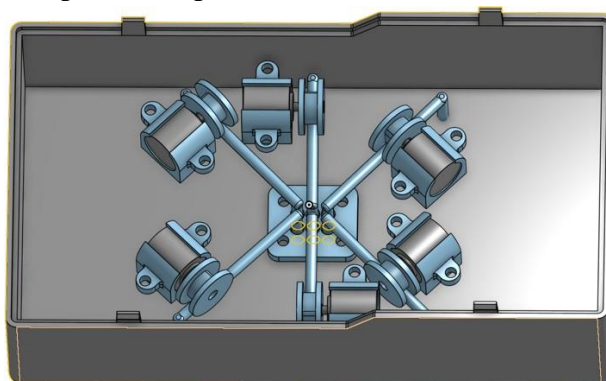


Figura 28. Diseño segundo prototipo soportes, levas, relieves y micromotor paso a paso (Autor)



Figura 29. Impresión segundo prototipo soportes, levas, relieves y micromotor paso a paso (Autor)

2.3. Prototipo final

En el prototipo final se descartó usar los micromotores a paso, puesto a su remplazo se implementó una solución más certera y fácil, que son los micros servos motores. Los micros servos motores poseen más fuerza y potencia, además de ser más fáciles de controlar mediante el microcontrolador Arduino. Una de las falencias de los servomotores es su tamaño, a pesar de ser lo más pequeños del mercado, son muy grandes para un dispositivo con relieves Braille estandarizados por la Comisión Braille Española, ya que el tamaño de los relieves del Sistema Braille es en milímetros.

Para desarrollar el diseño y construcción se restableció todo el proceso, desde el flujograma hasta la arquitectura del Estimulador de tacto, lo que llevo a facilitar el progreso del dispositivo. Se cambió el diseño mecánico adaptándolo al tamaño de los servomotores.

2.3.1. Flujograma Estimulador de tacto

El desarrollo del dispositivo estimulador de tacto necesitó de una serie de pasos que trabajan simultánea, puesto que depende cada proceso uno del otro. Siendo importante establecer un orden continuo para la ejecución de los pasos, ya que al presentar problemas dentro de algún proceso sea más fácil solventarlo. Debido a esto, se vio la necesidad de ejecutar un flujograma para diseñar el dispositivo y posteriormente construirlo, el flujograma visualizado en la Figura. 30.

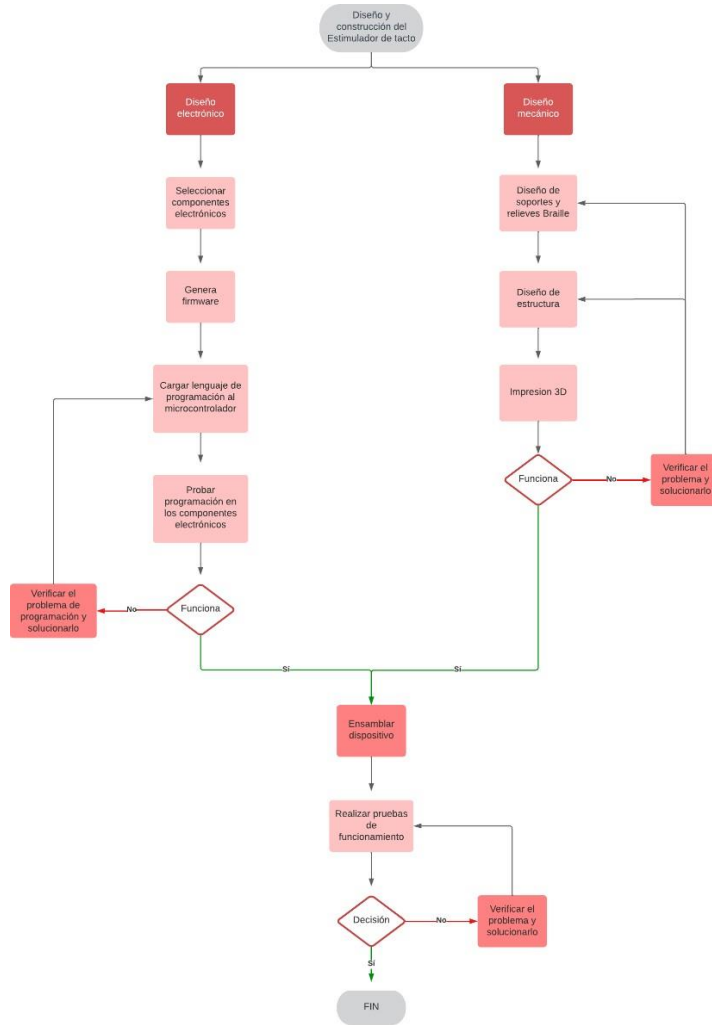


Figura 30. Flujograma Estimulador de tacto Braille (Autor)

2.3.2. Arquitectura del Estimulador de tacto

Para apoyar la enseñanza de lectura Braille, se requería un sistema electrónico que permitiera el movimiento mecánico y la transferencia de las letras de la imprenta al sistema Braille.

para cumplir con el desarrollo de la arquitectura tecnológica del Estimulador de Tacto, donde se conecta el Arduino a los motores para generar simbología Braille. La arquitectura del estimulador de tacto se muestra a continuación en la Figura 31.

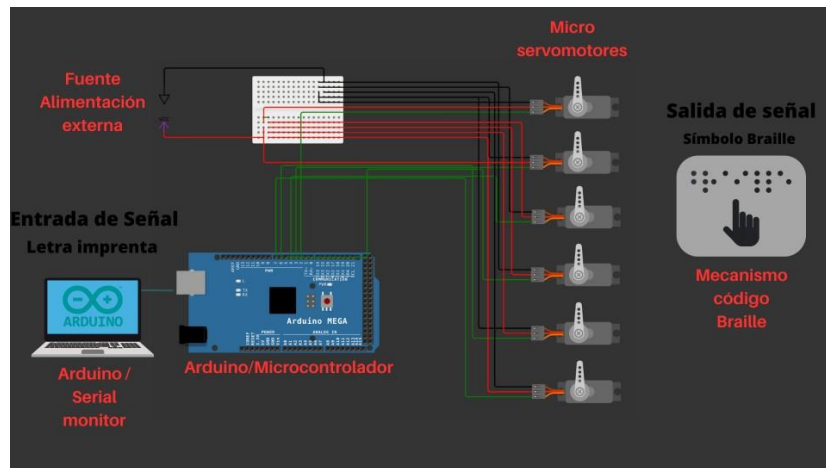


Figura 31. Arquitectura dispositivo Estimulador de tacto (Autor)

El microcontrolador y el lenguaje de programación de la placa de Arduino controlan principalmente el dispositivo. La placa de Arduino permite la comunicación directa de los servomotores con el Arduino y el movimiento de las letras impresas al Sistema Braille. Sin embargo, para que cada servomotor funcione mejor y no se sobrecargue de información, es necesaria una fuente externa para el Arduino. Esto evita que la placa del Arduino sufra daños.

El mecanismo código Braille permite el aprendizaje y el refuerzo de la lectura Braille. Aprovechando su tamaño real, sus estímulos ya están preparados para leer en superficies diferentes. Debido a que la señal se envía a través del "Monitor de serie", se requiere un computador con software Arduino.

Todas las partes funcionan con una fuente de alimentación de 5 V 2A. Sin embargo, para proteger los servomotores y el Arduino, se utilizó la fuente externa mencionada anteriormente.

2.3.3. Conexión Servomotores

Como los seis servomotores se mueven dependiendo del carácter, la programación letra por letra se utiliza para crear el funcionamiento de los motores. Con el alfabeto del sistema Braille, se crea una librería que envía los caracteres, la letra impresa que se desea interpretar en Braille, y establece el movimiento de los motores ya convertidos en Braille.

Debido a su gran tamaño, el control de los servos se realiza en grados, lo que significa que el motor recorre 10 grados para funcionar. Todos los motores se pueden configurar de la misma manera en la programación del Arduino.

Para que funcione los motores y tenga comunicación con el Arduino, es necesario el diseño del código de programación, que permita suministrar la información necesaria y requerida para su respectivo movimiento, dependiendo de la parte mecánica.

Por otro lado, para generar la letra 'a' en Braille es necesario el uso de un solo servomotor, es decir el motor #1 gira haciendo que el botón sobresalga y los otros 5 motores se mantienen en su posición base o a 0°, lo que genera un solo relieve conocido como letra 'a', así se realiza el funcionamiento con las diferentes letras del alfabeto, la misma se puede observar el comportamiento de los motores respecto a las letras en la Tabla 1.

Tabla 1: Comportamiento de motores respecto a las letras (Autor)

Letra	Motor	Letra	Motor	Letra	Motor	Letra	Motor
a	Motor 1	h	Motor 1	ñ	Motor 1	u	Motor 1
			Motor 2		Motor 2		Motor 3
			Motor 5		Motor 4		Motor 6

					Motor 5		
					Motor 6		
b	Motor 1 Motor 2	i	Motor 2 Motor 4	o	Motor 1 Motor 3 Motor 5	v	Motor 1 Motor 2 Motor 3 Motor 6
c	Motor 1 Motor 4	j	Motor 2 Motor 4 Motor 5	p	Motor 1 Motor 2 Motor 3 Motor 4	w	Motor 2 Motor 4 Motor 5 Motor 6
d	Motor 1 Motor 4 Motor 5	k	Motor 1 Motor 3	q	Motor 1 Motor 2 Motor 3 Motor 4 Motor 5	x	Motor 1 Motor 3 Motor 4 Motor 6
e	Motor 1 Motor 5	l	Motor 1 Motor 2 Motor 3	r	Motor 1 Motor 2 Motor 3 Motor 5	y	Motor 1 Motor 3 Motor 4 Motor 5 Motor 6
f	Motor 1 Motor 2 Motor 4	m	Motor 1 Motor 3 Motor 4	s	Motor 2 Motor 3 Motor 4	z	Motor 1 Motor 3 Motor 4 Motor 5
g	Motor 1 Motor 2 Motor 4 Motor 5	n	Motor 1 Motor 3 Motor 4 Motor 5	t	Motor 2 Motor 3 Motor 4 Motor 5		

Al tratarse de un dispositivo pequeño y electromecánico, es necesario contar con un diseño compacto para el movimiento respectivo de los motores. Por eso, este mecanismo tiene un brazo que representa el relieve Braille que gira según el acondicionamiento del motor, haciendo que retroceda o se eleve el relieve de la simbología Braille.

2.3.4. Diseño del Estimulador de tacto

El diseño del dispositivo estimulador de tacto Braille se realizó con ayuda del Software Autodesk Fusion 360 2023 de diseño y simulación de artículos, puesto que este Software permite diseñar, visualizar y ensamblar el dispositivo, donde se pudieron realizar simulaciones para verificar su funcionamiento y luego construir mediante de impresión 3D.

En las primeras etapas de la construcción del dispositivo se diseñará la parte estructural que permite el soporte y ubicación de los elementos electrónicos, que permitirán el funcionamiento mecánico requerido del dispositivo. Para desarrollar la base del dispositivo donde se ubica el Arduino Mega, se tienen en cuenta las dimensiones de este, 101.52 x 53.3 mm, dejando las entradas de alimentación necesarias para el Arduino, que se pueden visualizar en la Figura. 32. Además, en la Figura. 33. observamos el diseño listo para imprimir, con los soportes y espacios que permiten mantener fijado el Arduino Mega.

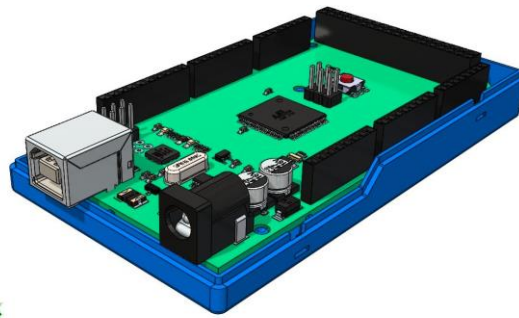


Figura 32. Diseño de base del dispositivo elaborado según el tamaño del Arduino Mega (Autor)

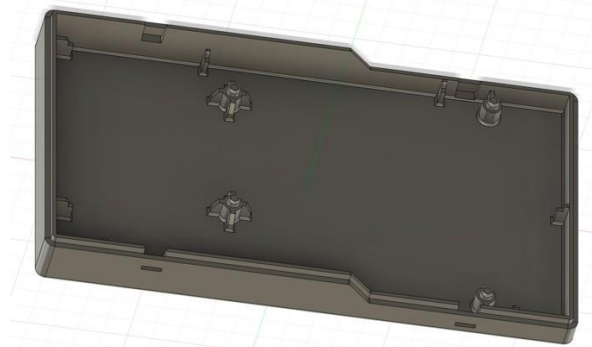


Figura 33. Diseño de base del dispositivo elaborado en Fusion 360 (Autor)

Para continuar con el diseño estructural del dispositivo, se reutilizó el diseño de los primeros prototipos, el cual se basaba en tener una segunda planta donde está la placa electrónica elaborada, que mide 5.2 x 7.4 mm según el diseño elaborado, además de añadir espacios de 3.41 mm de distancia donde pasaran los cables de conexión entre el Arduino Mega y la placa electrónica. El espacio se usó para comunicar y conectar cables de los 6 micro servomotores con la palca Arduino. En la Figura. 34. y Figura. 35. observamos cada diseño elaborado y la adaptación de la placa electrónica con soportes para impedir su desplazamiento.

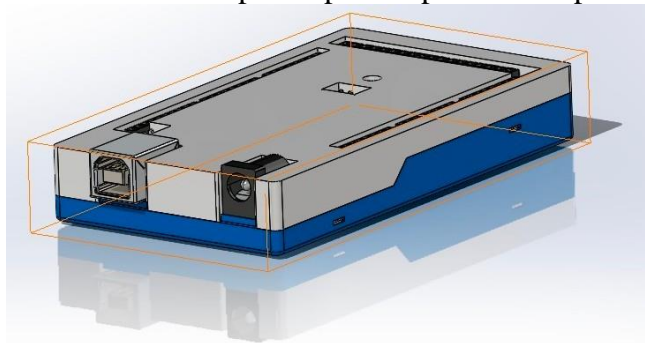


Figura 34. Diseño de segunda planta espacios de conexión con Arduino Mega (Autor)

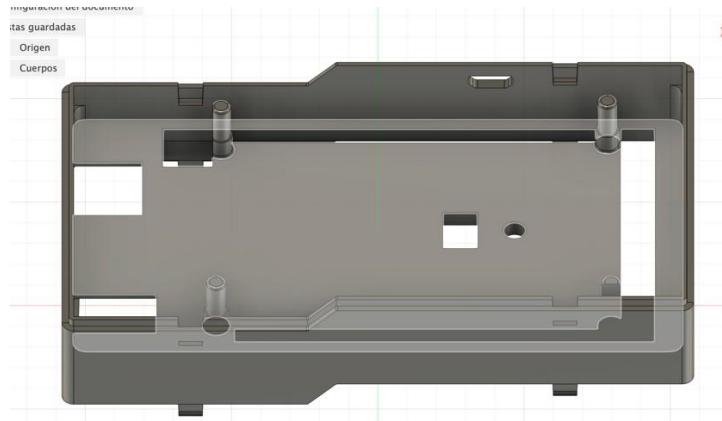


Figura 35. Diseño para impresión 3D elaborado en Fusion 360 (Autor)

Por otro lado, la etapa final del proceso de construcción en el diseño mecánico permite el movimiento de los relieves del sistema Braille, según el movimiento de los servomotores y su secuencia establecida.

Para realizar letras en Braille, se necesitan diseño de los relieves, que se levantarán con ayuda de los brazos encajadas en los motores.

El primer paso en la última de construcción, para construir los relieves, se consideró las dimensiones obtenidas de los documentos técnicos de la Comisión Braille Española, tomando como referencia los valores máximos para su diseño, además cada uno de los brazos diseñados para encajar en los servomotores varían su dimensión por la ubicación de cada servomotor. El diseño de los relieves Braille se observan en la Figura. 36. y Figura. 37., además del ensamble de la estructura con los relieves en la Figura. 38..

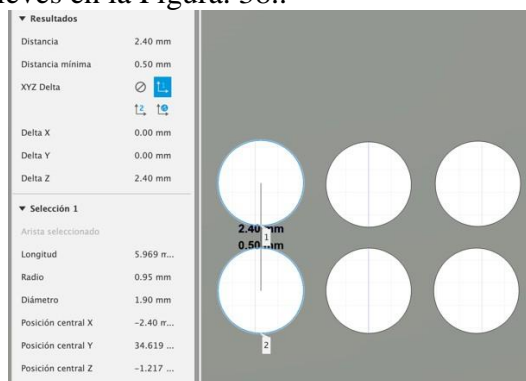


Figura 36. Diseño de espacio de relieves según los valores establecidos por la Comisión Braille Española (Autor)



Figura 37. Ensamble de Sistema Braille, respecto a la estructura. (Autor)

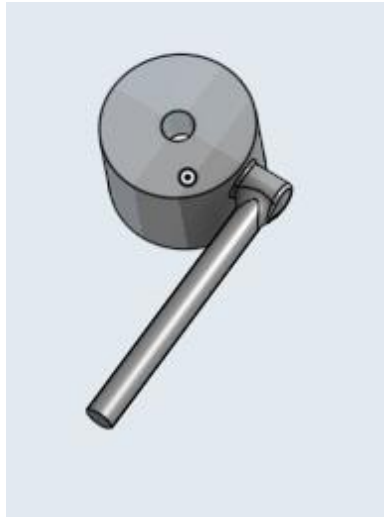


Figura 38. Diseño relieve según las dimensiones de la Comisión Braille Española (Autor)

En el segundo paso de la última etapa, el sistema mecánico que permite mover los relieves, el sistema que permite que suban y bajen, por eso se necesitaron soportes para la ubicación correcta cada servomotor en la Figura. 39.. En la Figura. 40. se observa el funcionamiento de los brazos/relieves respecto a los motores para generar su respectivo movimiento.

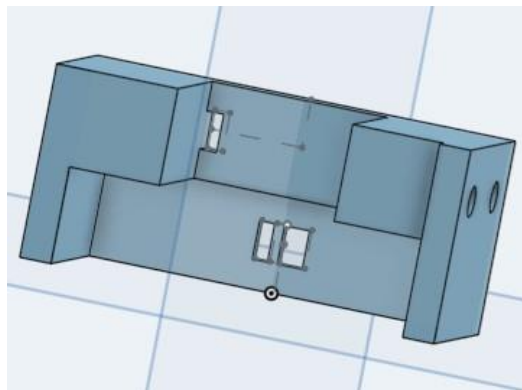


Figura 39. Diseño soporte para ubicación de servomotores (Autor)

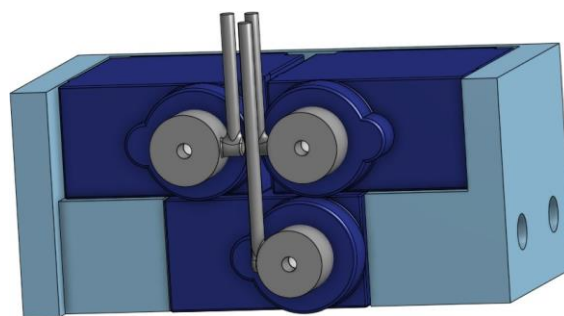


Figura 40. Diseño soportes y brazos/relieves (Autor)

Por último, a fin de culminar el diseño de la estructura, se diseña la tercera planta donde se ubican motores, soportes y relieves del sistema Braille observados en la Figura. 41. y el ensamble del sistema en la Figura. 42..

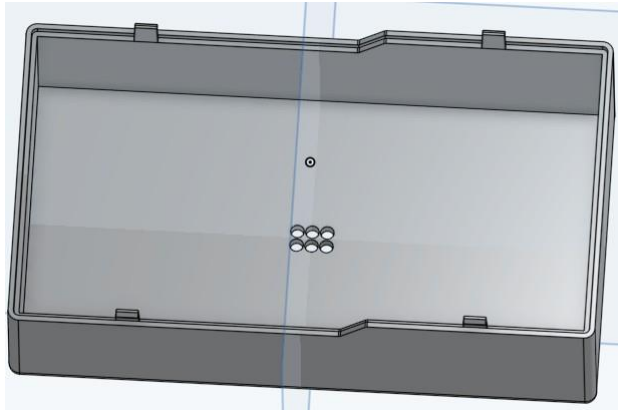


Figura 41. Diseño tercera planta para impresión 3D en fusión 360 (Autor)

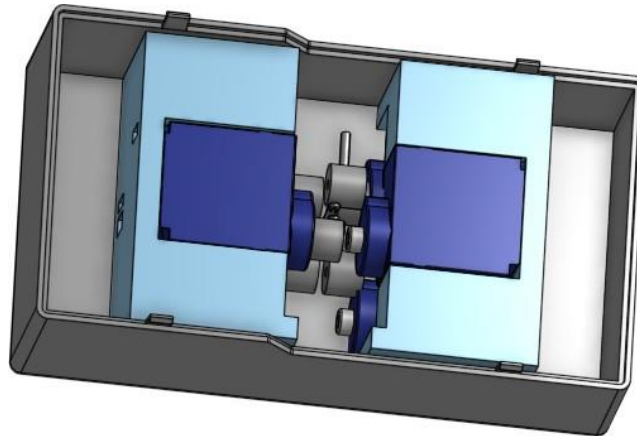


Figura 42. Ensamble tercera planta (Autor)

Con los diseños elaborados, se procede a construir el dispositivo estimulador de tacto Braille mediante una impresión 3D. Para imprimir la estructura que son la base y los pisos donde se ubican los componentes electrónicos, soportes, motores y relieves se utiliza filamento PLA color gris. La impresión en filamento PLA, se puede observar en la Figura. 43.




Figura 43. Impresión 3D diseño estructura (Autor)

2.4. Plan de Experimentación

El plan de experimentación se desarrolló para conocer la percepción de los profesionales en el área de enseñanza del Sistema Braille a personas con deficiencia visual, pues es importante conocer si este dispositivo será útil en el aprendizaje. Para conocer la percepción y realizar la debida validación del dispositivo se desarrolló un plan de experimentación que consta de una encuesta limitada realizada a tres docentes del área.

La encuesta netamente es específica para conocer si la funcionalidad y accesibilidad es la correcta en el dispositivo, además de conocer su opinión de sí a las personas con discapacidad visual en el proceso de aprendizaje les servirá como herramienta de aprendizaje y refuerzo en la lectura Braille, por esta razón las preguntas son enfocadas a la percepción del usuario con el dispositivo.

A continuación, podemos observar el formato de entrevista en la Figura. 44.



Encuesta sobre la percepción de un ESTIMULADOR DE TACTO PARA EL SOPORTE EN EL APRENDIZAJE DE LECTURA DE LENGUAJE BRAILLE

Esta encuesta tiene por objetivo determinar la percepción de docentes expertos en el Sistema Braille de la Universidad Politécnica Salesiana y Universidad Nacional de Educación respecto al ESTIMULADOR DE TACTO PARA EL SOPORTE EN EL APRENDIZAJE DE LECTURA DE LENGUAJE BRAILLE

• Apellidos y Nombres: _____
 • Indique su género: Femenino Masculino Otro
 • Edad: _____
 • Indique su lugar de trabajo: _____
 • Indique su estado civil:
 Soltero/a Casado/a Divorciado/a
 Viudo/a Unión libre Otro (especifique): _____
 • Indique su profesión: _____
 • Indique el tipo institución en la que trabaja: Público Privada
 • Indique sus años de experiencia en la docencia con niños y niñas: _____
 • Indique en qué área de docencia trabaja: _____
 • Indique su título universitario: _____

*Para contestar, escoja una sola opción y marque con una "X":

1. ¿Cómo le resultó el manejo del Estimulador de tacto para las personas con discapacidad visual?

Muy fácil	Fácil	Ni fácil ni difícil	Un poco difícil	Muy difícil

2. ¿Considera que el dispositivo resulta útil como apoyo para el aprendizaje de lectura Braille?

Totalmente de acuerdo
 De acuerdo
 Ni acuerdo ni desacuerdo
 Un poco en desacuerdo
 Totalmente en desacuerdo

3. ¿Qué tan fácil resulta el desarrollo del reconocimiento de letras?

Muy fácil	Fácil	Ni fácil ni difícil	Un poco difícil	Muy difícil

4. ¿Considera suficiente el intervalo de tiempo entre una letra y otra en el deletreo?

Muy rápido	Rápido	Ni rápido ni lento	Un poco lento	Muy lento

5. ¿Qué le parecen los relieves del Sistema Braille?:

Muy adecuadas	Adecuadas	Neutras	Poco adecuadas	Nada adecuadas

6. ¿Podría calificar el grado de efectividad con el que el dispositivo capta las letras y las convierte al Sistema Braille?:

Ineficaz, incapaz, incorrecto.
 Dificultades, adecuación media.
 Rendimiento medio, aceptable.
 Efectivo, preciso, adecuado.
 Excelente, óptimo, perfecto.

7. ¿Qué le parece el tiempo que permanecen en relieve las letras Braille?:

Muy rápido	Rápido	Ni rápido ni lento	Un poco lento	Muy lento

8. ¿Considera que las personas con discapacidad visual podrán aprender a leer mediante el ESTIMULADOR DE TACTO PARA EL SOPORTE EN EL APRENDIZAJE DE LECTURA DE LENGUAJE BRAILLE ?:

Totalmente de acuerdo
 De acuerdo
 Ni acuerdo ni desacuerdo
 Un poco en desacuerdo
 Totalmente en desacuerdo

9. ¿Considera que las personas con discapacidad visual que se encuentran en proceso de aprendizaje estarían interesadas en interactuar con el Estimulador de Tacto en una Institución Educativa?:

Totalmente de acuerdo
 De acuerdo
 Ni acuerdo ni desacuerdo
 Un poco en desacuerdo
 Totalmente en desacuerdo

10. ¿Cree usted que el Estimulador de Tacto puede ser una herramienta de enseñanza útil para los docentes del Sistema Braille?:

Totalmente de acuerdo
 De acuerdo
 Ni acuerdo ni desacuerdo
 Un poco en desacuerdo
 Totalmente en desacuerdo

11. ¿Qué tan efectivo considera que es el dispositivo estimulador de tacto para mejorar su comprensión y fluidez en el aprendizaje de lectura Braille?:

Nada efectivo	Poco efectivo	Moderadamente efectivo	Bastante efectivo	Muy efectivo

12. ¿Qué tan dispuesto estaría a recomendar el dispositivo estimulador de tacto a otros estudiantes o personas interesadas en aprender el sistema Braille?:

Nada dispuesto	Poco dispuesto	Moderadamente dispuesto	Bastante dispuesto	Muy dispuesto

13. ¿Es usted partidario de incorporar una mayor diversidad de actividades y retroalimentación en futuras versiones del dispositivo para mejorar el aprendizaje de lectura de lenguaje Braille?:

Totalmente de acuerdo
 De acuerdo
 Ni acuerdo ni desacuerdo
 Un poco en desacuerdo
 Totalmente en desacuerdo

14. ¿Cómo calificaría su experiencia al interactuar con el Estimulador de tacto Braille?:

Muy cómoda	Cómoda	Ni cómoda ni incómoda	Un poco incómoda	Muy incómoda

Figura 44. Formato Plan de Experimentación (Autor)

CAPÍTULO 3: RESULTADOS

3.1. *Ensamble electromecánico*

Según los diseños realizados en marco metodológico, después de la impresión 3D ensamblamos el dispositivo para su funcionamiento. El resultado del proceso de ensamblaje electromecánico es un dispositivo funcional y operativo que combina componentes eléctricos y mecánicos de manera integrada. El dispositivo ha sido construido siguiendo un diseño detallado y ha pasado por varias etapas de montaje, calibración y verificación para asegurarse de que funcione correctamente gracias a este proceso meticuloso.

El dispositivo ensamblado puede estimular el tacto y traducir de manera efectiva y confiable el lenguaje normal al sistema Braille. Los componentes eléctricos y mecánicos funcionan juntos para maximizar el rendimiento, por lo que la comunicación de los servomotores con la placa Arduino es correcta. Los motores eléctricos producen movimiento mecánico y potencia cuando interactúan con campos magnéticos y corrientes eléctricas.

Además, el proceso de ensamblaje electromecánico garantiza que el dispositivo cumpla con los estándares de calidad y seguridad establecidos. Las pruebas y verificaciones realizadas durante el proceso garantizan que el dispositivo no tenga fallas, sea resistente y duradero para el uso cotidiano dentro de la educación Braille.

El resultado final es un prototipo preparado para las pruebas de expertos que validan la funcionalidad. La figura. #. muestra cómo se ensambló correctamente el dispositivo con los micro servomotores, la placa Arduino, los soportes y los relieves.

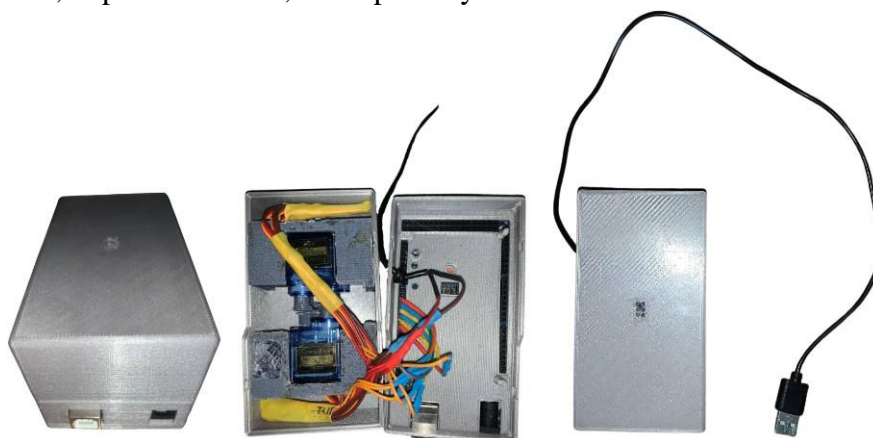


Figura 45. Estimador de tacto Ensamble (Autor)

3.2. *Análisis estadístico Plan de Experimentación*

Con el objetivo de realizar un proceso inicial de validación de las principales funcionalidades del dispositivo de soporte a la enseñanza del Braille, se aplicó un cuestionario a 3 expertos del área. Los perfiles de los expertos se describen en la Tabla 2:

Tabla 2. Perfiles expertos que participaron del proceso de validación de las funcionalidades del dispositivo de soporte a la enseñanza (Autor).

Experto	Género	Edad	Años de experiencia profesional en trabajo con niños y niñas	Profesión
1	Masculino	43	15	Docente
2	Masculino	43	25	Docente
3	Masculino	68	18	Docente

Como se puede apreciar, se contó con la participación de 3 expertos de sexo masculino con experiencia en la atención de niños y niñas (media de 18 años, DS de 5.13 años). El rango de edad de los expertos va de los 43 a los 68 años (media de 43 años, DS de 14.43), con lo que se aprecia que existe homogeneidad en los perfiles. Para determinar si existió consenso entre los expertos, se empleó el Kendall's Coefficient of Concordance W (Juškevičienė et al., 2021). Con este coeficiente se realizó el análisis de los resultados de la encuesta que estuvo organizada en dos grandes bloques. En el primero se incluyeron 11 preguntas de carácter demográfico (nombres y apellidos, género, edad, lugar de trabajo, estado civil, profesión, institución donde labora, años de experiencia la docencia, área de la docencia donde se desempeña, título universitario), mientras que en el segundo bloque se plantearon 14 preguntas para determinar diversos aspectos de las funcionalidades del dispositivo de soporte a la enseñanza. A continuación, se detallan los grupos de preguntas en función del criterio al que se enfocan:

- Aspectos de manejo del dispositivo Braille: facilidad de uso del dispositivo (Q01) y facilidad para reconocer las letras Braille que presenta (Q03), tiempo entre letras que utiliza el dispositivo durante la fase de deletreo de una palabra (Q04), tiempo que la letra Braille se presenta (a través de los puntos de relieve) (Q07).
- Aspectos físicos y de funcionalidad del dispositivo: pertinencia de los relieves para representar las letras en Braille (Q05), efectividad con las que las letras son representadas en Braille a través del dispositivo (Q06).
- Utilidad del dispositivo en la enseñanza del Braille: utilidad para que personas no videntes puedan aprender Braille con el dispositivo (Q02), factibilidad de que personas con discapacidad visual puedan aprender con el dispositivo Braille (Q08), posible interés para que una persona en proceso de aprendizaje pueda usar el dispositivo (Q09), utilidad para que los maestros usen el dispositivo Braille (Q10), efectividad del dispositivo para mejorar el aprendizaje del Braille (Q11).
- Percepción del dispositivo en general: predisposición a recomendar el uso del dispositivo (Q12) y de colaborar con el desarrollo de nuevas versiones (Q13), percepción de la experiencia general en el uso del dispositivo (Q14).

Con el objetivo de que los expertos se familiarizaran con el dispositivo de soporte, se llevaron a cabo sesiones demostrativas donde pudieron interactuar con el mismo y valorar sus diferentes funcionalidades.

Para determinar si existió consenso entre los profesionales, se desarrolló el análisis de iter-rater agreement. Para ello, se calculó el Kendall's Coefficient of Concordance W (Juškevičienė et al., 2021). El proceso de cálculo se llevó a cabo empleando el software estadístico R (versión 4.3.1) y se plantearon las siguientes hipótesis en relación a la concordancia entre los profesionales:

- H_0 : No existe consenso entre los expertos para los criterios indicados en el formulario.
- H_a : Sí existe consenso entre los expertos para los criterios indicados en el formulario.

Como se puede observar a continuación, para el Kendall's Coefficient of Concordance W se trabajó con la interpretación propuesta por (Landis & Koch, 1977):

- $0.00 \leq w < 0.20$ - Slight agreement
- $0.20 \leq w < 0.40$ - Fair agreement
- $0.40 \leq w < 0.60$ - Moderate agreement
- $0.60 \leq w < 0.80$ - Substantial agreement

- $w \geq 0.80$ - Almost perfect agreement

Como se puede observar en la Tabla 2, para existe un nivel de “Moderate agreement” ($W = 0.51$) los criterios establecidos en el cuestionario. Sin embargo, el valor p-value obtenido (0.09758). Este valor es mayor a 0.05, por lo cual se considera que los resultados indican que no existe un consenso apropiado entre los expertos, considerando un nivel de confianza superior al 95%.



Figura 46. Expert's perceptions about Braille device (Autor).

Tabla 2. Resultados obtenidos del Kendall's Coefficient of Concordance W para el cuestionario aplicado.

En la Figura. 46. se puede observar los resultados de coincidencia de los expertos por pregunta. Como se puede apreciar, todos los expertos coinciden en la pregunta Q02, existiendo discrepancias entre las demás preguntas. Las preguntas Q03, Q05, Q06, Q09, Q10, Q11, Q13 y Q14 tienen coincidencia de al menos dos expertos, mientras que en las demás preguntas no existe coincidencia entre ninguno de los 3.

Figura. 46. Resultados del análisis de consenso de profesionales para las 14 preguntas relacionadas con los principales aspectos y funcionalidades del dispositivo Braille.

CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

4.1 Conclusiones

De acuerdo a los requerimientos establecidos mediante historias de usuarios para la validación del diseño antes de su construcción fue una herramienta útil que permitió la creación del diseño de manera más fácil y enfocada a las necesidades generales en la problemática de lectura Braille.

El diseño y construcción a pesar de tener algunas complicaciones por la potencia de los primeros motores implementados, se logró solucionar la falencia con el cambio a micro servomotores, lo que permitió un desarrollo de lenguaje de programación más sencillo y más potencia y fuerza en los relieves Braille, adaptando los nuevos tamaños a la estructura original.

Dentro del plan de experimentación para validación de funcionalidad por expertos Los resultados obtenidos demuestran que el dispositivo de soporte para la enseñanza de Braille es una herramienta útil para apoyar a los niños y adultos en proceso de aprendizaje Braille. Es necesario hacer cambios en el manejo del dispositivo, la cantidad de tiempo que se usa para representar las letras en el deletreo, la duración de la presentación de cada letra y aspectos generales que permitan una mejor adaptación del dispositivo a las necesidades de las personas que están aprendiendo Braille para maximizar su eficacia. El dispositivo se convertirá en una herramienta aún más valiosa y efectiva para ayudar a los niños a aprender Braille, brindándoles una experiencia educativa más enriquecedora y exitosa.

4.2 Trabajo futuro

La primera fase del dispositivo estimulador de tacto para el aprendizaje de lectura Braille está finalizada como se describe durante todo el documento; pero aún hay preguntas sobre el dispositivo generado a partir del plan de experimentación para validarla con los expertos, pues se obtuvo ideas interesantes para implementarlas además de que el dispositivo está en la etapa primitiva y solo contiene un convertidor de letras. A continuación, se plantea proponer dos fases extra para iniciar con el trabajo futuro para implementar el dispositivo Estimulador de tacto, siendo una herramienta más completa dentro de soporte de enseñanza de lectura Braille y el autoaprendizaje.

Dentro de la fase dos se sugiere implementar el dispositivo con más caracteres, no solamente letras, también números y signos. Como es importante en la enseñanza no solo conocer las letras por independientemente, sino también es primordial comprender frases o deletreo de palabras con signos de puntuación agregados, ya sean tildes, diéresis, entre otras. Además de realizar pruebas con usuarios que se encuentra en el proceso de aprendizaje de lectura Braille, para así tener otras perspectivas del dispositivo y seguir mejorando. También mejorar la parte de relieves, y una estructura más pequeña y amigable.

La fase tres comprende de llevar a cabo una aplicación móvil que permita la comunicación con un teléfono inteligente y el dispositivo, para que el mismo sea autónomo y pueda utilizarse en el autoaprendizaje desde casa, ya sea mediante OCR o STT, siendo así que tenga más opciones de interacción, donde puede ser spelling, letras aleatorias, reconocer palabras, etc.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Análisis moderno de sistemas dinámicos en ingeniería: Un ejemplo.* (s/f). Recuperado el 12 de julio de 2023, de https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/6016/1/BoteroHector_1999_AnalisisModernoSistemas.pdf
- Aprendizaje del sistema BRAILLE / AC02.- Los sistemas de comunicación con ayuda.* (2023, marzo 3). https://ikastaroak.birt.eus/edu/argitalpen/backupa/20200331/1920k/es/APSD/AC/AC02/es_APSD_AC02_Contenidos/website_71_aprendizaje_del_sistema_braille.html
- Automación, M. (2017). *Servomotores: control, precisión y velocidad.* AADECA REVISTA, 4, 22-23.
- Área Tecnología. (s/f). *Servomotores.* Recuperado el 20 de julio de 2023, de https://www.areatecnologia.com/electricidad/servomotor.html#%C2%BFQu%C3%A9_es_un_Servomotor
- Bauer, C. M., Hirsch, G. V., Zajac, L., Koo, B.-B., Collignon, O., & Merabet, L. B. (2017). Multimodal MR-imaging reveals large-scale structural and functional connectivity changes in profound early blindness. *PLOS ONE*, 12(3), e0173064. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173064>
- Cabrera Hidalgo, J. C. (2018). *Diseño y desarrollo de un prototipo de línea Braille de bajo costo para personas no videntes en el marco de Cátedra UNESCO “Tecnologías de Apoyo para la Inclusión Educativa” de la Universidad Politécnica Salesiana* [BachelorThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16647>
- Comisión Braille Española. (2014a). *Braille en español, alfabeto, números, y sistema—Web ONCE* [Page]. <https://www.once.es/servicios-sociales/braille>, <https://www.once.es/servicios-sociales/braille>
- Comisión Braille Española. (2014b). *Características de la discapacidad visual y ceguera—Web ONCE* [Page]. <https://www.once.es/dejanos-ayudarte/la-discapacidad-visual>, <https://www.once.es/dejanos-ayudarte/la-discapacidad-visual>
- Comisión Braille Española. (2014c). *Documentos técnicos relacionados con el Braille—Web de la ONCE* [Page]. <https://www.once.es/servicios-sociales/braille/documentos-tecnicos/documentos-tecnicos-relacionados-con-el-braille>
- Comisión Braille Española. (2014d). *Louis Braille, inventor del sistema de puntos en relieve—ONCE* [Page]. <https://www.once.es/dejanos-ayudarte/la-discapacidad-visual/louis-braille>
- Conti, F. (2005). *Motores paso a paso.* Tecnibook Ediciones.
- DISPOSITIVOS PARA LIMITADOS VISUALES DESARROLLADOS POR EL GRUPO APLICABILIDAD TECNOLÓGICA DE LA UMB.* (s/f). Recuperado el 2 de marzo de 2023, de <https://www.redalyc.org/pdf/304/30400309.pdf>
- Electronic Components. (2020). *Motor paso a paso – tipos y ejemplos del uso de motores paso a paso.* <https://www.tme.eu/es/news/library-articles/page/41861/Motor-paso-a-paso-tipos-y-ejemplos-del-uso-de-motores-paso-a-paso/>
- Escudero, J. C. S. (2011). Discapacidad visual y ceguera en el adulto: Revisión de tema. *MEDICINA U.P.B.*

- Estadísticas de Discapacidad*. (2022). Tableau Software.
https://public.tableau.com/views/Discapacidad/Inicio?:embed=y&:showVizHome=no&:loadOrderID=0&:display_count=yes&:showTabs=y
- González Coneo, J., & Quiroz Mariano, V. (2010). Determinación del tiempo de respuesta de un sistema electromecánico: Caso práctico. *INGE CUC*, 6(1), 309–314.
- González, V. R. (2002). *Servomotores: Composición y funcionamiento*.
http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/ctrl_rob/robotica/sistema/motores_servo.htm
- Guzhñay Lucero, A. D. (2018). *Diseño y construcción de un asistente robótico para el soporte en la enseñanza del lenguaje Braille en niños de 6 a 8 años* [BachelorThesis].
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16324>
- Juškevičienė, A., Stupurienė, G., & Jevsikova, T. (2021). Computational thinking development through physical computing activities in STEAM education. *Computer Applications in Engineering Education*, 29(1), 175–190. <https://doi.org/10.1002/cae.22365>
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, 33(1), 159–174. <https://doi.org/10.2307/2529310>
- Loza Peñaloza, O. P. (2007). Sistema electrónico braille para la ayuda en el aprendizaje de personas no videntes. *Universitas*, 1(7), Article 7. <https://doi.org/10.17163/uni.n7.2006.08>
- Mecatrónica LATAM. (2021, abril 24). *Motor paso a paso*. Mecatrónica LATAM.
<https://www.mecatronicalatam.com/es/tutoriales/motor/motores-electricos/motor-de-corriente-continua/motor-paso-a-paso/>
- Morales M^a del Carmen *Lectura y escritura en estudiantes con ceguera o deficiencia visual grave*. (s/f). Recuperado el 2 de marzo de 2023, de
<https://intercoconnecta.aacid.es/Gestin%20del%20conocimiento/Conclusiones%20-%20Lectura%20y%20escritura%20en%20estudiantes%20con%20ceguera%20o%20deficiencia%20visual%20grave.pdf>
- National Braille press. (2018). *NBP - About Braille—Who is Louis Braille?*
<https://www.nbp.org/ic/nbp/about/aboutbraille/whoislouis.html>
- Necesidades Educativas del Ciego: Sistema Braille*. (s/f). Recuperado el 12 de julio de 2023, de
https://archivos.csif.es/archivos/andalucia/ensenanza/revistas/csicsif/revista/pdf/Numero_21/ANTONIA_RAYA_2.pdf
- Organización Mundial de la Salud. (2022). *Ceguera y discapacidad visual*.
<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>
- Pillacela Pillacela, C. R., & Jumbo Sedamanos, J. C. (2021, agosto 4). Diseño y Construcción de un dispositivo para el aprendizaje de escritura en el Sistema Braille. *Cátedra UNESCO | Tecnologías de apoyo para la Inclusión Educativa*. <https://catedraunescoinclusion.org/descargas/dispositivos-electronicos/dispositivo-de-aprendizaje/>
- Robles-Bykbaev, V., Guzhñay-Lucero, A., Pulla-Sánchez, D., Pesántez-Avilés, F., Suquilanda-Cuesta, P., & Bernal-Merchán, E. (2018). A Multifunction Braille Trainer based on Embedded Systems, Mobile Apps, Rule-based Reasoning and Data Mining for Children with Visual Impairment. *Computación y Sistemas*, 22(4), Article 4. <https://doi.org/10.13053/cys-22-4-2795>
- Rueda, C. S. (1993). El desarrollo de los procesos básicos en la lectura táctil del Braille [Http://purl.org/dc/dcmitype/Text, Universidad Autónoma de Madrid]. En *El desarrollo de los*

procesos básicos en la lectura táctil del Braille.

<https://portalcientifico.uned.es/documentos/63e6f4579188457ecdb7da62>

Saucedo, A. C. G., Heredia, F. J. G., & Martínez, R. R. (2016). Discapacidad visual. *Cultura Científica y Tecnológica*, 51, Article 51. <http://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/954>

Secretaría Técnica de Discapacidades. (2014). *Sistema Integrado Manuela Espejo Información Estadística Quito* [Gobierno Ecuatoriano]. Setedis. <http://www.setedis.gob.ec>

SERVO MOTOR SG90

DATA SHEET. (2020).

UNIR. (2020). *Discapacidad visual en el aula: Pautas para su atención.* UNIR.

<https://www.unir.net/educacion/revista/discapacidad-visual-en-el-aula/>

ANEXOS

CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN ARDUINO

- MOVIMIENTO DE SERVOMOTORES

```
#include <Servo.h>

Servo s1;
Servo s2;
Servo s3;
Servo s4;
Servo s5;
Servo s6;

int grados = 7;
int time_m = 5000;
bool giro = 0;
int g2=grados;
int g3=grados;
int g4=grados;
int g5=grados;

void setup() {

  Serial.begin(9600);
  //pin 2 inverso
  //pin 4 inverso
  //pin 5 inverso
  //pin 6 inverso
  s1.attach(7);
  s2.attach(2);
  s3.attach(4);
  s4.attach(5);
  s5.attach(6);
  s6.attach(3);

  s1.write(0);
  s2.write(g2);
  s3.write(g3);
  s4.write(g4);
  s5.write(g5);

  s6.write(0);
}

void Comparacion(char
data);

void loop() {
  while
  (Serial.available()) {
    char inChar =
  (char)Serial.read();

  Comparacion(inChar);
  }
}

void motor_1(bool
giro){
  if (giro==1){
    s1.write(grados);
  }else {
    s1.write(0);
  }
}

void motor_2(bool
giro){
  if (giro==1){
    s2.write(g2-
grados);
  }else {
    s2.write(g2);
  }
}

void motor_3(bool
giro){
  if (giro==1){
    s3.write(g3-
grados);
  }else {
    s3.write(g3);
  }
}

void motor_4(bool
giro){
  if (giro==1){
    s4.write(g4-
grados);
  }else {
    s4.write(g4);
  }
}

void motor_5(bool
giro){
  if (giro==1){
    s5.write(g5-
grados);
  }else {
    s5.write(g5);
  }
}

void motor_6(bool
giro){
  if (giro==1){
    s6.write(grados);
  }else {
    s6.write(0);
  }
}

void Comparacion(char
data) {
  switch (data)
  {
    case 'a':
      motor_1(true);
      delay(time_m);
      motor_1(false);
      break;
  }
}
```

- TRADUCCIÓN LETRAS A BRAILLE

```
void Comparacion(char
data) {
  switch (data)
  {
    case 'a':
      motor_1(true);
      delay(time_m);
      motor_1(false);
      break;
  }
}
```

```

        motor_1(true);
        motor_2(true);
        motor_4(true);
        motor_5(true);
        delay(time_m);
        motor_1(false);
        motor_2(false);
        motor_4(false);
        motor_5(false);
        delay(time_m);
        break;
    case 'c':
        motor_1(true);
        motor_4(true);
        delay(time_m);
        motor_1(false);
        motor_4(false);
        delay(time_m);
        break;
    case 'd':
        motor_1(true);
        motor_4(true);
        motor_5(true);
        delay(time_m);
        motor_1(false);
        motor_4(false);
        motor_5(false);
        delay(time_m);
        break;
    case 'e':
        motor_1(true);
        motor_5(true);
        delay(time_m);
        motor_1(false);
        motor_5(false);
        delay(time_m);
        break;
    case 'f':
        motor_1(true);
        motor_2(true);
        motor_4(true);
        delay(time_m);
        motor_1(false);
        motor_2(false);
        motor_4(false);
        delay(time_m);
        break;
    case 'g':
        motor_1(true);
        motor_2(true);
        motor_4(true);
        motor_5(true);
        delay(time_m);
        motor_1(false);
        motor_2(false);
        motor_4(false);
        motor_5(false);
        delay(time_m);
        break;
    case 'h':
        motor_1(true);
        motor_2(true);
        motor_5(true);
        delay(time_m);
        motor_1(false);
        motor_2(false);
        motor_5(false);
        delay(time_m);
        break;
    case 'i':
        motor_2(true);
        motor_4(true);
        delay(time_m);
        motor_2(false);
        motor_4(false);
        delay(time_m);
        break;
    case 'j':
        motor_2(true);
        motor_4(true);
        motor_5(true);
        delay(time_m);
        motor_2(false);
        motor_4(false);
        motor_5(false);
        delay(time_m);
        break;
    case 'k':
        motor_1(true);
        motor_3(true);
        delay(time_m);
        motor_1(false);
        motor_3(false);
        delay(time_m);
        break;
    case 'l':
        motor_1(true);
        motor_2(true);
        motor_3(true);
        delay(time_m);
        motor_1(false);
        motor_2(false);
        motor_3(false);
        delay(time_m);
        break;
    case 'm':
        motor_1(true);
        motor_3(true);
        motor_4(true);
        delay(time_m);
        motor_1(false);
        motor_3(false);
        motor_4(false);
        delay(time_m);
        break;
    case 'n':
        motor_1(true);
        motor_3(true);
        motor_4(true);
        motor_5(true);
        delay(time_m);
        motor_1(false);
        motor_3(false);
        motor_4(false);
        motor_5(false);
        delay(time_m);
        break;
    case 'ñ':
        motor_1(true);
        motor_2(true);
        motor_4(true);
        motor_5(true);
        motor_6(true);
        delay(time_m);
        motor_1(false);
        motor_2(false);
        motor_4(false);
        motor_5(false);
        motor_6(false);
        delay(time_m);
        break;

```

```

case'o':
    motor_1(true);
    motor_3(true);
    motor_5(true);
    delay(time_m);
    motor_1(false);
    motor_3(false);
    motor_5(false);
    delay(time_m);
break;

case'p':
    motor_1(true);
    motor_2(true);
    motor_3(true);
    motor_4(true);
    delay(time_m);
    motor_1(false);
    motor_2(false);
    motor_3(false);
    motor_4(false);
    delay(time_m);
break;

case'q':
    motor_1(true);
    motor_2(true);
    motor_3(true);
    motor_4(true);
    motor_5(true);
    delay(time_m);
    motor_1(false);
    motor_2(false);
    motor_3(false);
    motor_4(false);
    motor_5(false);
    delay(time_m);
break;

case'r':
    motor_1(true);
    motor_2(true);
    motor_3(true);
    motor_5(true);
    delay(time_m);
    motor_1(false);
    motor_2(false);
    motor_3(false);
    motor_5(false);
    delay(time_m);
break;

case's':
    motor_2(true);
    motor_3(true);
    motor_4(true);
    delay(time_m);
    motor_2(false);
    motor_3(false);
    motor_4(false);
    delay(time_m);
break;

case't':
    motor_2(true);
    motor_3(true);
    motor_4(true);
    motor_5(true);
    delay(time_m);
    motor_2(false);
    motor_3(false);
    motor_4(false);
    motor_5(false);
    delay(time_m);
break;

case'u':
    motor_1(true);
    motor_3(true);
    motor_6(true);
    delay(time_m);
    motor_1(false);
    motor_3(false);
    motor_6(false);
    delay(time_m);
break;

case'v':
    motor_1(true);
    motor_2(true);
    motor_3(true);
    motor_6(true);
    delay(time_m);
    motor_1(false);
    motor_2(false);
    motor_3(false);
    motor_6(false);
    delay(time_m);
break;

case'w':
    motor_2(true);
    motor_4(true);
    motor_5(true);
    motor_6(true);
    delay(time_m);
    motor_2(false);
    motor_4(false);
    motor_5(false);
    motor_6(false);
    delay(time_m);
break;

case'x':
    motor_1(true);
    motor_3(true);
    motor_4(true);
    motor_6(true);
    delay(time_m);
    motor_1(false);
    motor_3(false);
    motor_4(false);
    motor_6(false);
    delay(time_m);
break;

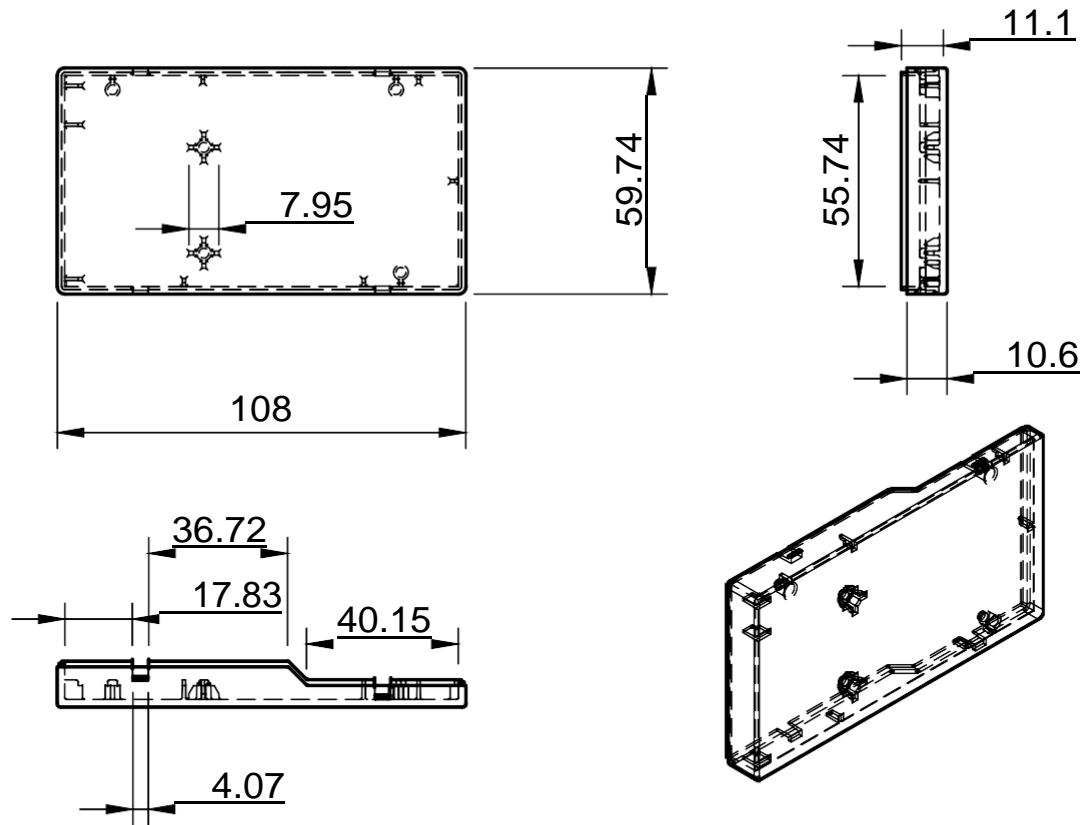
case'y':
    motor_1(true);
    motor_3(true);
    motor_4(true);
    motor_5(true);
    motor_6(true);
    delay(time_m);
    motor_1(false);
    motor_3(false);
    motor_4(false);
    motor_5(false);
    motor_6(false);
    delay(time_m);
break;

case'z':
    motor_1(true);
    motor_3(true);
    motor_5(true);
    motor_6(true);
    delay(time_m);
    motor_1(false);
    motor_3(false);
    motor_5(false);
    motor_6(false);
    delay(time_m);
break;

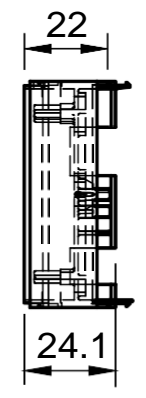
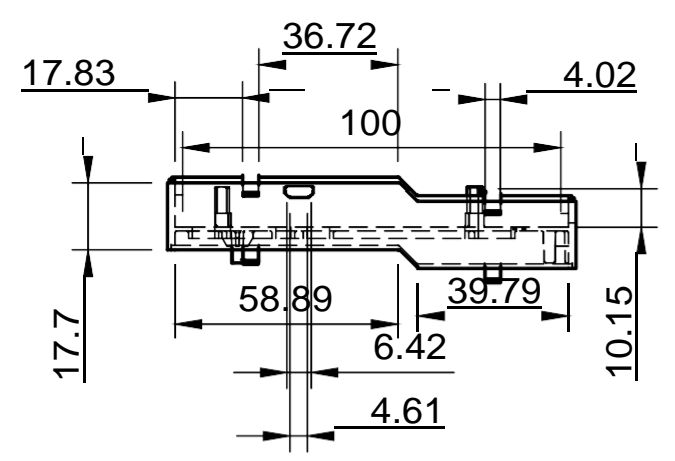
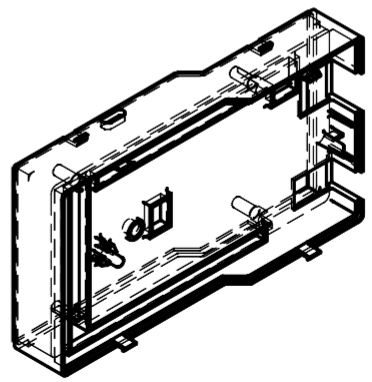
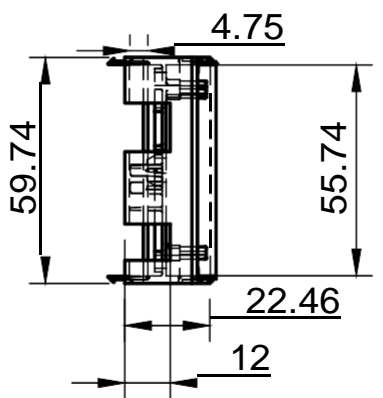
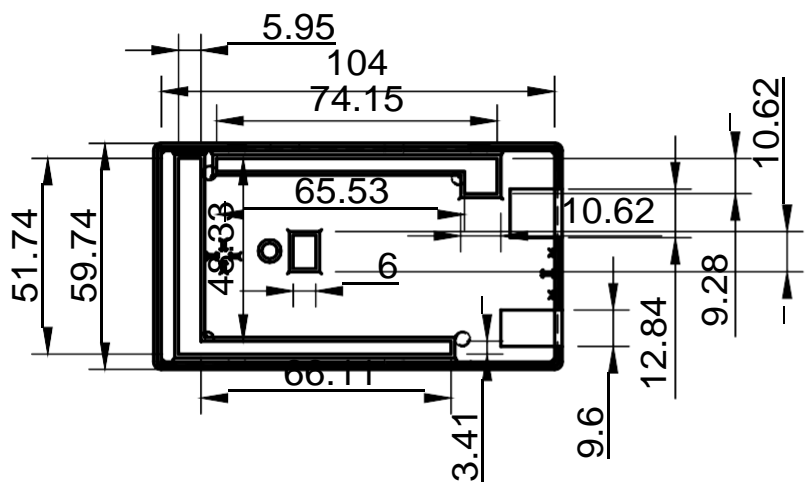
```

```
default:                break;                }//FIN de  
                        }                    }
```

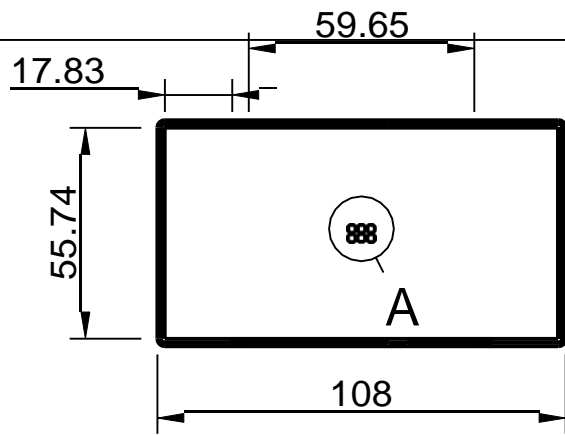
PLANOS DEL DISPOSITIVO ESTIMULADOR DE TACTO



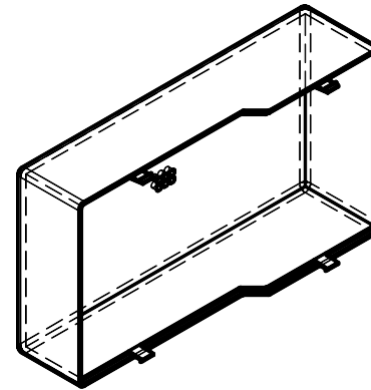
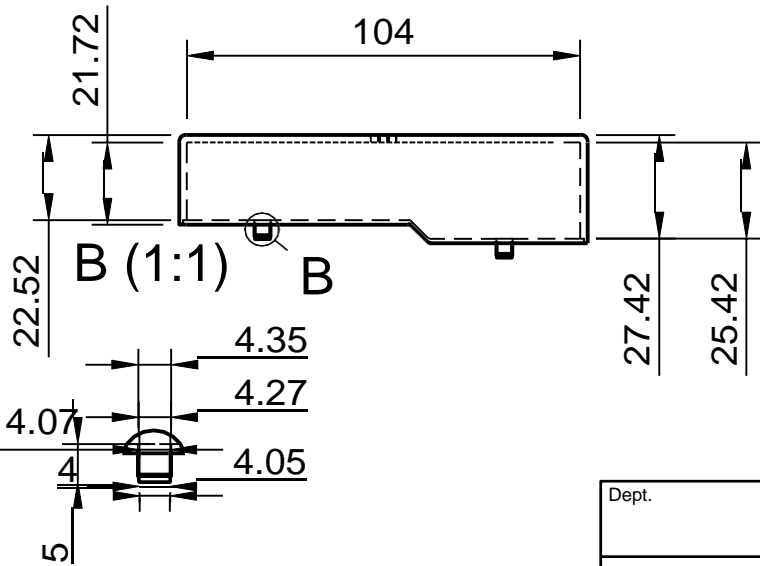
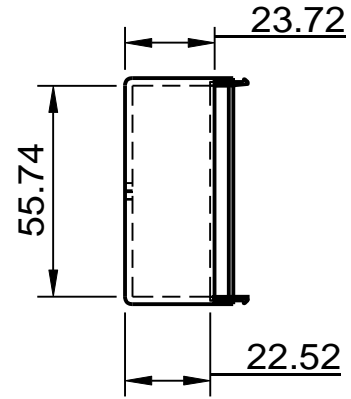
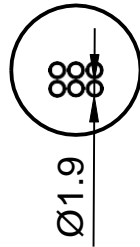
Dept.	Technical reference	Created by María Isabel Chuya 13/7/23	Approved by	
		Document type TESIS	Document status	
		Title Base	DWG No.	
		Rev.	Date of issue	Sheet 1/1



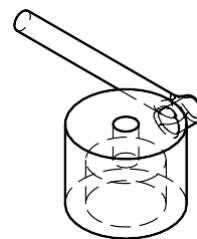
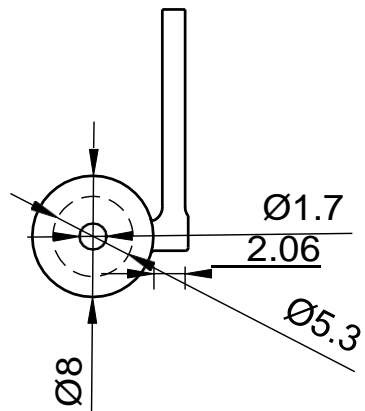
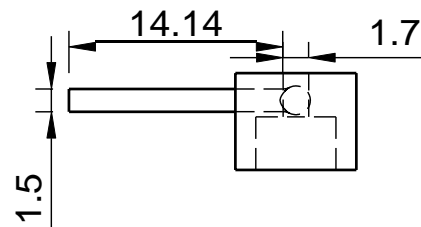
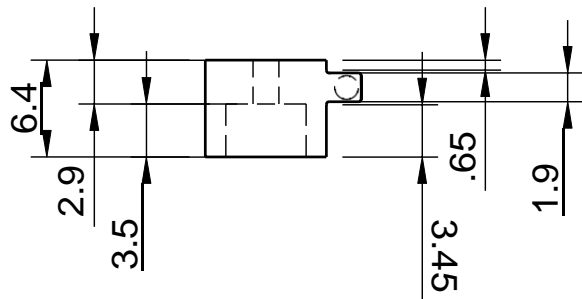
Dept.	Technical reference	Created by María Isabel Chuya 13/7/23	Approved by	
		Document type	Document status	
		Title Planta media	DWG No.	
		Rev.	Date of issue	Sheet 1/1



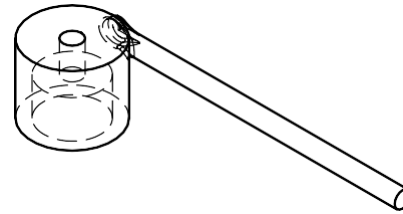
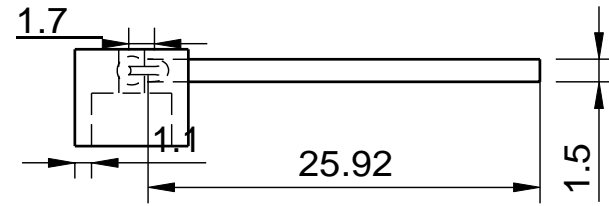
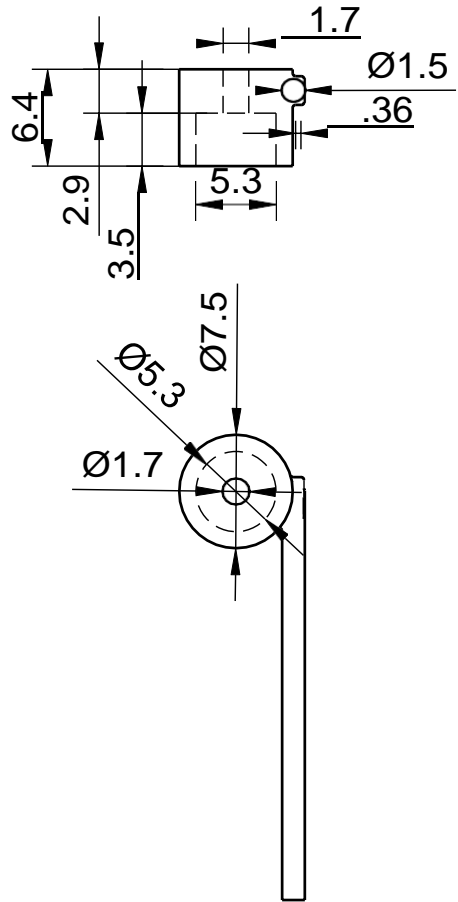
A (1:1)



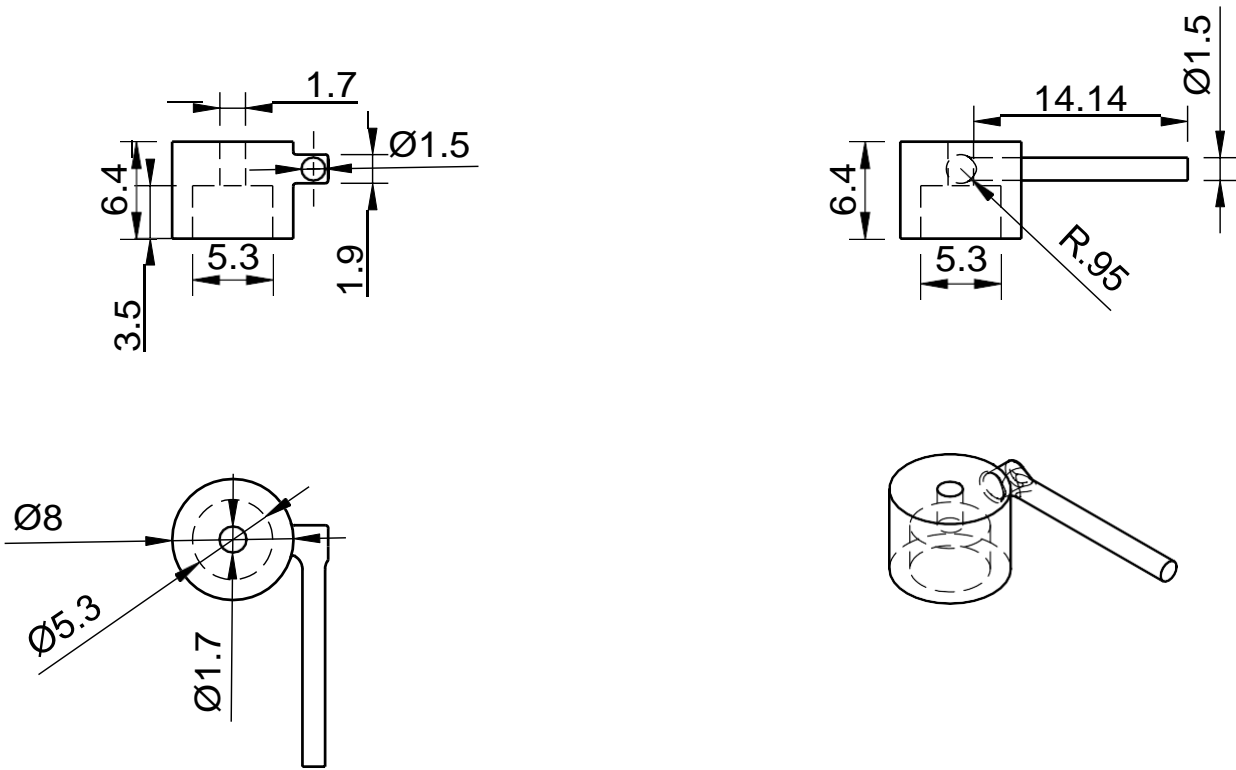
Dept.	Technical reference	Created by María Isabel Chuya	Approved by	
		Document type TESIS	Document status	
		Title Superior/superficie	DWG No.	
		Rev.	Date of issue	Sheet 1/1



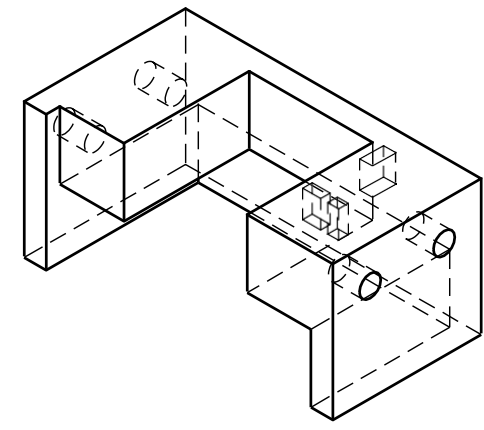
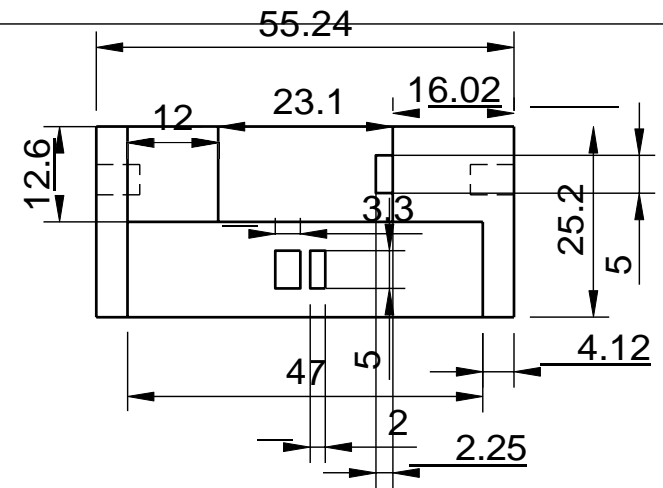
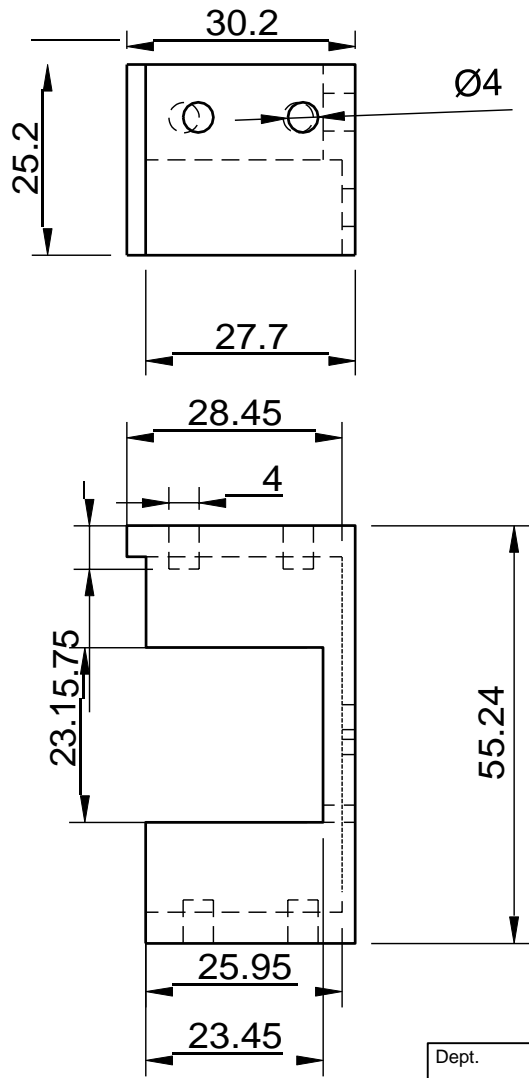
Dept.	Technical reference	Created by María Isabel Chuya	Approved by	
		Document type TESIS	Document status	
		Title Motor superior izq.	DWG No.	
		Rev.	Date of issue	Sheet 1/1



Dept.	Technical reference	Created by María Isabel Chuya	Approved by	
		Document type TESIS	Document status	
		Title Motor mitad	DWG No.	
		Rev.	Date of issue	Sheet 1/1



Dept.	Technical reference	Created by María Isabel Chuya 25/7/23	Approved by	
		Document type TESIS	Document status	
		Title Motor superior der	DWG No.	
		Rev.	Date of issue	Sheet 1/1



Dept.	Technical reference	Created by María Isabel Chuya	Approved by	
		Document type TESIS	Document status	
		Title Soporte motores	DWG No.	
		Rev.	Date of issue	Sheet 1/1