



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

“DISPOSITIVO DE APRENDIZAJE DEL ALFABETO DE SISTEMA BRAILLE”

Trabajo de grado previo a la obtención de título de Ingeniero en Mecatrónica

Autor:

Adriana Yadira Abad Guamán

Director:

Ing. David Alberto Ojeda Peña, PhD.

Ibarra - junio 2024



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE
LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información.

| DATOS DE CONTACTO | | | |
|---------------------|-----------|-----------------------------------|------------|
| CÉDULA DE IDENTIDAD | | 1724090665 | |
| APELLIDOS Y NOMBRES | | Adriana Yadira Abad Guaman | |
| DIRECCIÓN | | Santo Domingo, Coop. Juan Eulogio | |
| EMAIL | | ayabadg@utn.edu.ec | |
| TELENO FIJO | 023763132 | TELEFONO MÓVIL | 0987838399 |

| DATOS DE CONTACTO | |
|-----------------------------------|--|
| TÍTULO | Dispositivo de aprendizaje del alfabeto de sistema Braille |
| AUTOR(ES): | Abad Guamán Adriana Yadira |
| FECHA DE APROBACIÓN DD/MM/AAAA | 10/06/2024 |
| PROGRAMA | <input checked="" type="checkbox"/> Pregrado <input type="checkbox"/> Posgrado |
| TÍTULO POR EL QUE OPTA | INGENIERO EN MECATRÓNICA |
| ASESOR/DIRECTOR | Ing. David Ojeda, PhD. / Ing. Brizeida Gámez, PhD. |

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derecho de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros

Ibarra, a los 10 días del mes de junio del 2024

EL AUTOR:

(Firma).....
Nombre: Abad Guaman Adriana Yadira



Universidad Técnica del Norte
Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas
APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El tribunal Examinador del trabajo de titulación. Dispositivo de aprendizaje del alfabeto de sistema Braille. Elaborado por Adriana Yadira Abad Guaman previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte.

Ing. David Ojeda, PhD.
Director

Ing. Brizeida Gámez, PhD.
Ascsora de Tesis



Universidad Técnica del Norte

Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas

**CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR**

En mi calidad de director del trabajo de grado “DISPOSITIVO DE APRENDIZAJE DEL ALFABETO DE SISTEMA BRAILLE”, presentado por la egresada Adriana Yadira Abad Guaman, que opta por el título de Ingeniero en Mecatrónica, certifico que el mencionado proyecto fue realizado bajo mi dirección.

Ibarra, 10 de junio de 2024.

Ing. David Ojeda, PhD.

Director de Tesis

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación va dedicado a los principales motores de mi vida, mis padres Esperanza Guaman y Vicente Abad, quienes han sido mi mejor ejemplo para seguir, nunca se rindieron y siempre confiaron en mí, confiaron en que su pequeña podría con esto y mucho más, permanecieron a mi lado e hicieron cada sacrificio para poder tener lo mejor para mí. Gracias por su amor y apoyo incondicional para llevar a cabo este logro en mi vida y poder formarme como una profesional, estoy eternamente agradecida. A mis hermanas Andrea y Mayra, mis mejores compañeras de vida, siempre supieron darme la mano y palabras de aliento para no rendirme en este camino. A mi sobrino Aldahir, mi pequeño, gracias por tantas risas y tanto amor.

Con cariño, Adriana Yadira Abad Guaman

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a Dios quien me ha guiado en esta etapa de mi vida y me ha dado la sabiduría para poder alcanzar esta meta. A mi padre y a mi madre por siempre desear y anhelar lo mejor para mí, quienes día con día se han esforzado para formarme como una persona de bien y que hoy sus esfuerzos han dado sus frutos, gracias por cada consejo y cada palabra que me han guiado durante toda la vida. A mi amado Michel Vinueza por la paciencia y por su amor, ha estado a mi lado brindándome su apoyo y motivación para seguir adelante, gracias por ser parte de este proceso y de mi vida para poder alcanzar una meta más, por acompañarme en mis noches de desvelo y ser mi refugio en los días de debilidad, vivirá eternamente en mi corazón. Agradezco a la Universidad Técnica del Norte, a mi director Ing. David Ojeda y a mi asesora Ing. Brizeida Gámez quienes fueron los mejores guías en este proceso y por medio de sus conocimientos se dio por culminado este trabajo. A todos mis ingenieros por haber sido parte de esta formación académica, por todo el conocimiento y valores aprendidos. A la Srta. Nohemí Trejo y a la Asociación de No Videntes por ser parte de este proceso. Gracias a la vida por este triunfo y gracias a todas las personas que confiaron en mí.

Adriana Yadira Abad Guaman

RESUMEN

El sistema Braille es importante para la integración de las personas con discapacidad visual en la sociedad, facilitando la lectura y escritura. Sin embargo, el proceso de enseñanza y aprendizaje Braille se ha convertido en método difícil y complejo. En este contexto, se ha diseñado un dispositivo mecatrónico didáctico para la enseñanza/aprendizaje del alfabeto en Braille en modos de lectura y escritura con retroalimentación auditiva para estimular tanto el tacto como el oído. El dispositivo utiliza mecanismos que crean relieve para representar las letras en modo lectura y un vacío para representarlas en modo de escritura. Se destaca la reproducción de puntuaciones para desarrollar un sentido adicional en el usuario. La investigación adoptó un enfoque mixto, combinado un estudio de campo para identificar las necesidades específicas de los usuarios no videntes y una investigación exhaustiva para comprender los fundamentos pedagógicos del aprendizaje Braille. Estos hallazgos fueron integrados en el desarrollo y definición de la estructura, portabilidad, ergonomía y pedagogía más efectiva del dispositivo. Los resultados indican que el dispositivo cumplió con los objetivos planteados, siendo evaluado de manera positiva por educadores y personas no videntes como un instrumento eficaz para el aprendizaje del alfabeto en sistema Braille.

Palabras Clave: Sistema Braille, pedagógico, retroalimentación, autónomo.

ABSTRACT

The Braille system is important for the integration of visually impaired people into society, facilitating reading and writing. However, the process of teaching and learning Braille has become difficult and complex method. In this context, a mechatronic didactic device has been designed for teaching/learning the Braille alphabet in reading and writing modes with auditory feedback to stimulate both touch and hearing. The device uses mechanisms that create relief to represent the letters in reading mode and a vacuum to represent them in writing mode. The playback of punctuation is highlighted to develop additional sense in the user. The research adopted a mixed approach, combining a field study to identify the specific needs of blind users and extensive research to understand the pedagogical underpinnings of Braille learning. These findings were integrated into the development and definition of the device's structure, portability, ergonomics, and most effective pedagogy. The results indicate that the device met the proposed objectives, being positively evaluated by educators and blind people as an effective tool for learning the Braille alphabet.

Key words: Braille system, pedagogical, feedback, autonomous.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|--|----|
| CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE..... | 2 |
| DECLARACIÓN | 3 |
| CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO | 4 |
| DEDICATORIA | 5 |
| AGRADECIMIENTOS..... | 6 |
| RESUMEN..... | 7 |
| ABSTRACT | 8 |
| ÍNDICE DE TABLAS | 12 |
| ÍNDICE DE FIGURAS | 13 |
| CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN..... | 15 |
| 1.1 Planteamiento del Problema | 15 |
| 1.2 Objetivos..... | 16 |
| 1.2.1 Objetivo general | 16 |
| 1.2.2 Objetivos específicos..... | 16 |
| 1.3 Alcance | 16 |
| 1.4 Justificación | 16 |
| CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO | 18 |
| 2.1 Antecedentes..... | 18 |
| 2.2 Bases Teóricas | 21 |
| 2.2.1 Sistema Braille | 21 |

| | | |
|---|---|----|
| 2.2.2 | Origen del sistema Braille | 22 |
| 2.2.3 | Principios fundamentales del sistema braille [18]..... | 23 |
| 2.2.4 | Normativa Braille | 25 |
| 2.3 | Métodos de enseñanza Braille [24]. | 26 |
| 2.3.1 | Alborada | 26 |
| 2.3.2 | Bliseo..... | 27 |
| 2.3.3 | Pergamo..... | 27 |
| 2.3.4 | Punto a punto..... | 27 |
| 2.3.5 | Tomillo | 28 |
| 2.4 | Abecedario en Sistema Braille | 28 |
| 2.4.1 | Representación táctil de las letras en Braille..... | 28 |
| 2.4.2 | Modo lectura en Braille..... | 32 |
| 2.4.3 | Modo escritura en Braille | 34 |
| CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO | | 36 |
| 3.1 | Enfoque y tipos de investigación..... | 36 |
| 3.2 | Diseño de la investigación..... | 36 |
| 3.2.1 | Definición de las propiedades del sistema Braille | 37 |
| 3.2.2 | Diseño del sistema mecatrónico | 37 |
| 3.2.3 | Implementación de la interfaz de aprendizaje..... | 39 |
| 3.2.4 | Validación de funcionamiento del sistema | 39 |
| CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y ANÁLISIS | | 41 |
| 4.1 | Especificaciones del sistema a diseñar | 41 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.2 | Planteamiento de alternativa de solución | 43 |
| 4.2.1 | Diseño..... | 43 |
| 4.3 | Especificaciones del sistema diseñado | 44 |
| 4.3.1 | Construcción de Hardware | 44 |
| 4.3.2 | Construcción del software | 52 |
| 4.4 | Construcción..... | 54 |
| 4.4.1 | Diseño de carcasa | 55 |
| 4.4.2 | Diseño de la estructura interna..... | 56 |
| 4.4.3 | Diseño mecánico..... | 57 |
| 4.4.4 | Diseño electrónico | 60 |
| 4.4.5 | Diseño de control..... | 64 |
| 4.5 | Pruebas | 67 |
| 4.5.1 | Tiempo de respuesta del dispositivo | 67 |
| 4.5.2 | Resultados de pruebas de campo | 68 |
| | CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES | 78 |
| | Conclusiones..... | 78 |
| | Recomendaciones | 80 |
| | REFERENCIAS | 81 |
| | ANEXOS..... | 87 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 4.1. Análisis de requerimientos..... | 41 |
| Tabla 4.2. Especificaciones técnicas de Arduino Nano [34] | 46 |
| Tabla 4.3. Especificaciones técnicas de servomotor [36]..... | 47 |
| Tabla 4.4. Especificaciones técnicas del controlador de servos [38]..... | 48 |
| Tabla 4.5. Especificaciones técnicas del pulsador de patas largas de dos pines [39] | 49 |
| Tabla 4.6. Especificaciones técnicas del Módulo MP3 Mini [40]..... | 50 |
| Tabla 4.7. Especificaciones técnicas del Minialtavo [41]..... | 51 |
| Tabla 4.8. Especificaciones técnicas del botón enconder rotativo [42]..... | 52 |
| Tabla 4.9. Datos de mecanismo piñón-cremallera..... | 58 |
| Tabla 4.10 Componentes del dispositivo | 59 |
| Tabla 4.11. Tiempo de respuesta del dispositivo | 68 |
| Tabla 4.12. Porcentaje de aceptabilidad de dispositivo Braille. | 77 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 2.1 Generador Braille [16] | 22 |
| Figura 2.2 Representación de la palabra “amor” [19] | 23 |
| Figura 2.3 Vocales sin acento y acentuadas en Braille [20] | 24 |
| Figura 2.4 Signos de puntuación en sistema Braille [20] | 24 |
| Figura 2.5 Signo de mayúscula en Braille | 25 |
| Figura 2.6 Prefijo de número en Braille [20] | 25 |
| Figura 2.7 Medidas estándar para uso de la Celda Braille [23]..... | 26 |
| Figura 2.8 Puntuación de celdas en sistema Braille [25]..... | 28 |
| Figura 2.9 Primera serie del alfabeto en Braille [28] | 30 |
| Figura 2.10 Segunda serie del alfabeto en Braille [29] | 31 |
| Figura 2.11 Tercera serie del alfabeto en Braille [30] | 32 |
| Figura 2.12 Signo generados en modo de lectura [31] | 33 |
| Figura 2.13 Signo generador en modo de escritura [31] | 34 |
| Figura 2.14 Regleta y punzón [33] | 35 |
| Figura 4.1 Estructura de menú del dispositivo | 44 |
| Figura 4.2 Construcción de Hardware | 45 |
| Figura 4.3 Arduino Nano [34] | 46 |
| Figura 4.4 Servomotor mini 1810 MG [35] | 47 |
| Figura 4.5 Modulo controlador de servos [37] | 48 |
| Figura 4.6 Pulsador de patas largas de dos pines [39]..... | 49 |
| Figura 4.7 Modulo MP3 mini [40] | 50 |
| Figura 4.8 Minialtavoz [41]..... | 51 |
| Figura 4.9 Botón encoder rotativo [42] | 52 |
| Figura 4.10 Diseño de Software | 53 |

| | |
|--|----|
| Figura 4.11 Funcionamiento general del dispositivo..... | 54 |
| Figura 4.12 Tapa posterior y delantera del dispositivo..... | 56 |
| Figura 4.13 Estructura interna del dispositivo..... | 56 |
| Figura 4.14 Tablilla de guía para botones..... | 57 |
| Figura 4.15 Nivel de relieve y nivel de vacío de botones..... | 58 |
| Figura 4.16 Ensamble general del dispositivo..... | 59 |
| Figura 4.17 Menú de enseñanza | 61 |
| Figura 4.18 Menú de evaluación | 62 |
| Figura 4.19 Menú de diversión..... | 63 |
| Figura 4.20 Esquema de conexión del dispositivo | 64 |
| Figura 4.21 Conexión de componentes electrónicos para el control de servomotores..... | 65 |
| Figura 4.22 Código para calibración de servos. | 66 |
| Figura 4.23 Diseño de control del dispositivo..... | 67 |
| Figura 4.24 Pruebas de campo realizadas en la Asociación de no Videntes de Imbabura .. | 69 |
| Figura 4.25 Análisis porcentual pregunta 1 | 70 |
| Figura 4.26 Análisis porcentual pregunta 2 | 70 |
| Figura 4.27 Análisis porcentual pregunta 3 | 71 |
| Figura 4.28 Análisis porcentual pregunta 4 | 72 |
| Figura 4.29 Análisis porcentual pregunta 5 | 72 |
| Figura 4.30 Análisis porcentual pregunta 6 | 73 |
| Figura 4.31 Análisis porcentual pregunta 7 | 74 |
| Figura 4.32 Análisis porcentual pregunta 8 | 74 |
| Figura 4.33 Análisis porcentual pregunta 9 | 75 |
| Figura 4.34 Análisis porcentual pregunta 10 | 76 |
| Figura 4.35 Análisis porcentual pregunta 11 | 76 |

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del Problema

Según un censo realizado por el Consejo Nacional para la Igualdad de las Discapacidades (CONADIS), en Ecuador el porcentaje de personas no videntes corresponde a un 11,54% del total de discapacitados. Esto representa un número de 54.397 personas con discapacidad visual, de las cuales 1.337 están ubicadas en la provincia de Imbabura[1].

En 2006 la ONU se adaptó a la convención de los derechos de personas con discapacidad visual para promover el bienestar de estas personas, se destaca la igualdad de derechos de personas no videntes con las de otros ciudadanos, es decir se busca obtener su desarrollo integral como personas. Un instrumento importante para la comunicación se basa en aprender a leer la comunicación escrita, es por ello por lo que se adopta el sistema Braille como método de lectura y escritura táctil [2].

El sistema Braille en niños se ha convertido en una técnica de enseñanza extenuante y compleja teniendo en cuenta que su método de aprendizaje es un poco más complicado en comparación con la de otros niños, ya que cuentan con facultades diferentes, su manera de aprender se basa en leer caracteres numéricos, alfanuméricos y alfabéticos mediante un sistema tangible de alto relieve [3].

Actualmente, se observa un desinterés en la enseñanza de sistema Braille, por lo que surge la necesidad de implementar nuevas alternativas para que las personas no videntes puedan comprender dicho método. Dado lo anterior, el Grupo de Investigación en Sistemas Industriales y Biomecánica propone el desarrollo de un dispositivo que permita facilitar el aprendizaje del Sistema Braille.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Desarrollar un dispositivo para el proceso de enseñanza del sistema Braille para lectura y escritura del alfabeto.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar las características del sistema Braille y su método de enseñanza.
- Diseñar un sistema mecatrónico.
- Implementar interfaz de aprendizaje en dispositivo mecatrónico.
- Validar el funcionamiento del sistema.

1.3 Alcance

Se diseñará un dispositivo mecatrónico que sea capaz de brindar una forma más accesible para aprender sistema Braille. Su estructura deberá construirse mediante impresión en 3D. La implementación será una matriz de 2x3 de alto relieve en la cual se podrá aprender a leer y a escribir el alfabeto.

Se analizará la metodología y características de sistema Braille en el cual se desarrollará un dispositivo mecatrónico para niños que contará con dos modos de enseñanza; tanto para lectura como para escritura.

El dispositivo se evaluará mediante dos rubricas, pedagógica y de enseñanza las cuales serán evaluadas por una persona con discapacidad visual, que permita comprobar si cumple con los estándares pedagógicos y de enseñanza que se le han dispuesto para su funcionamiento.

1.4 Justificación

La implementación de un dispositivo mecatrónico para el aprendizaje en modo de lectura y escritura del alfabeto Braille se fundamenta en los siguientes ámbitos:

En el ámbito académico, se sentarán bases tecnológicas para futuras investigaciones relacionadas con sistema Braille. Esto debido al desarrollo de un dispositivo mecatrónico, es fundamental para que una persona no vidente sea capaz de reconocer el alfabeto Braille en la lectura. Así mismo, se generaría un antecedente para que en futuras investigaciones se pueda continuar con la generación de soluciones para personas con discapacidad visual.

En el aspecto social, el dispositivo mecatrónico permitirá la inclusión social; ya que con la enseñanza del alfabeto en Braille los niños podrán tener preparación para poder comunicarse con el resto de las personas. Especialmente las personas de escasos recursos económicos, dado que se pretende generar un dispositivo económico.

En el ámbito de la investigación, el dispositivo permitirá realizar avances en el campo de la comunicación para medir la eficiencia y eficacia del aprendizaje Braille. Se desarrollará tecnología inclusiva mediante la cual se podrán crear diferentes sistemas para mejorar el aprendizaje de sistema Braille en niños promoviendo la innovación de dispositivos con soluciones tecnológicas para mejorar la vida de personas con discapacidad visual.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Se desarrolló un juguete autónomo de aprendizaje Braille, basado en la utilización de un módulo de enseñanza sensorial y auditivo diseñado para niñas y niños de 3 a 8 años, con la capacidad de generar letras y palabras que se reproduzcan de manera auditiva y táctil. El sistema se desarrolló como un módulo didáctico con el objetivo de ofrecer un enfoque interactivo y dinámico de aprendizaje. En el diseño se implementó la metodología mecatrónica utilizando tecnología de fuente abierta, tanto en hardware como en software. Esto posibilita que el niño no vidente pueda operar el dispositivo de manera autónoma, prescindiendo de la asistencia de un tutor [4].

Por otra parte, se diseñó un dispositivo didáctico, basado en un sistema mecatrónico, para la enseñanza del alfabeto del sistema Braille. Las bases para el diseño del sistema fueron establecidas mediante una exhaustiva revisión documental. Para obtener el prototipo, se exploraron dos soluciones, considerando los requisitos del usuario. Utilizando un análisis de criterios ponderados, se seleccionó la opción más óptima. El dispositivo resultante es un sistema mecatrónico de manipulación modular que incorpora retroalimentación sonora a través de una aplicación móvil. Además, facilita el desarrollo de la sensibilidad táctil mediante un aprendizaje efectivo, proporcionando actividades prácticas para la memorización simbólica en relieve [5].

Así mismo, se conoció un dispositivo electrónico para el aprendizaje de la lectura y escritura del sistema Braille capaz de representar caracteres en símbolos generadores. El proyecto se centra en el diseño y construcción de un prototipo electrónica destinado a facilitar el proceso de enseñanza y aprendizaje del sistema Braille. El dispositivo comprende un módulo de lectura que representa caracteres Braille solicitados por el usuario en puntos tangibles, un módulo de escritura que permite ingresar caracteres Braille, y un sintetizador de voz que posibilita la

comunicación con el usuario. El objetivo principal de este proyecto es proporcionar una herramienta tecnológica que instruya de manera sencilla tanto a personas no videntes como aquellos que deseen aprender esta forma de comunicación, abarcando el conocimiento del alfabeto, números, palabras y frases cortas en código Braille [6].

De la misma manera, se desarrolló un dispositivo electrónico destinado a respaldar el aprendizaje de la lectura de caracteres Braille. El sistema de lectoescritura Braille posibilita la interacción de personas con discapacidad visual con su entorno, sin depender de asistencia externa. El propósito principal de este dispositivo es facilitar a los instructores el proceso de lectura de caracteres Braille a través de una aplicación móvil Android. Esta aplicación permite aprender los caracteres Braille de manera secuencial y practicar lo aprendido. El sistema incluye una base de datos para el seguimiento y un dispositivo simulador de caracteres Braille [7].

En el mismo orden de ideas, se implementó un dispositivo electrónico interactivo para aprendizaje de Pre-Braille orientado a personas con discapacidad visual. El usuario cuenta con piezas extraíbles que representan los puntos en relieve del sistema Braille, facilitando la formación de letras y número. Estos símbolos pueden ser reproducidos fonéticamente mediante botones que presentan diferentes texturas y frases específicas para cada símbolo. La creación del dispositivo se llevó a cabo utilizando software y hardware de código abierto, empleado Raspberry Pi y el lenguaje de programación Python, respectivamente [8].

Adicionalmente, un dispositivo electrónico de aprendizaje alfabético traductor de voz Braille fue desarrollado con el objetivo de proporcionar a las personas no videntes la capacidad de estudiar y enfrentar la vida de manera más independiente. Su propósito principal es permitir que estas personas aprendan de manera autónoma el sistema de lecto-escritura Braille, lo cual les facilita una comunicación más eficiente con su entorno futuro. Incluye una matriz de punto

que representan el alfabeto en Braille, esta matriz se encuentra conecta a un microcontrolador que, a su vez se enlaza a través de internet a una aplicación móvil [9].

Además, mediante dispositivos móviles y una pantalla Braille se han identificado los caracteres Braille, prescindiendo de la necesidad de un tutor humano. Se llevó a cabo una encuesta dirigida a profesionales especializados en la enseñanza del Braille con el propósito de evaluar el método propuesto. Finalmente, tanto la aplicación como la pantalla fueron desarrolladas y puestas a disposición para la evaluación por parte de profesionales encargados de la alfabetización de personas con discapacidad visual [10].

Otro dispositivo, concebido para facilitar el aprendizaje del sistema Braille mediante juegos interactivos, elimina la constante necesidad de un tutor. Este proyecto adopta un enfoque cualitativo e interpretativo y propone el diseño de un dispositivo que utiliza placas de hardware libre y un reproductor de audio. La estructura del dispositivo está construida de una maqueta de madera MDF elaborada mediante corte laser [11].

Por otra parte, se han validado dispositivos para apoyar el aprendizaje y la enseñanza del sistema Braille. Se conoció acerca de la realimentación auditiva diseñado como herramienta de apoyo en el aprendizaje y enseñanza del Braille para personas con discapacidad visual. El enfoque metodológico consistió en cinco etapas: revisión literaria, especificación de parámetros, diseño y construcción del dispositivo, desarrollado de la plataforma virtual y verificación del sistema en conjunto [12].

Finalmente, se desarrolló una interfaz para enseñanza, aprendizaje del sistema Braille para niños de 3 a 5 años, se ha implementado una interfaz en un Juguete Autónomo Didáctico de aprendizaje Braille utilizando tecnología de reconocimiento de voz, esta implementación posibilita la interacción con el juguete a través del habla, proporcionando a niños no videntes un enfoque de aprendizaje más activo. Simultáneamente, ofrece a docentes y padres una nueva

herramienta educativa tecnológica que se adapta a los recursos y respuestas de los niños durante cada sesión de enseñanza-aprendizaje [13].

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Sistema Braille

El sistema Braille es un método de lectura y escritura desarrollado para personas con discapacidad visual. Se basa en el sentido del tacto y utiliza un sistema de puntos en alto relieve en el cual se pueden representar letras, números y distintos caracteres. Cada carácter Braille está compuesto por una combinación de hasta 6 puntos, las cuales se organizan en una matriz de dos columnas por tres filas [14].

Ha sido fundamental para brindar acceso a la lectura y escritura a las personas no videntes, permitiéndoles comunicarse, acceder a información y participar activamente en la sociedad. El Braille se utiliza en diferentes contextos, como libros, etiquetas, revistas, señalización, tecnología inclusiva, es una herramienta fundamental para la formación educativa de una persona con discapacidad visual [14].

El sistema Braille puede ser conceptualizado como un sistema binario debido a la representación de sus caracteres mediante puntos táctiles, sin embargo, en más precisamente un alfabeto reconocido internacionalmente con sus propias normativas para la correcta escritura. Consiste en 256 caracteres Braille distintos que se organizan de manera específica. La disposición de los puntos táctiles permite que quien interprete Braille puede distinguir si se trata de un número, letra o algún otro tipo de carácter. Aunque el Braille es un alfabeto universal, suelen existir pequeñas variaciones en cada idioma que se represente [15].

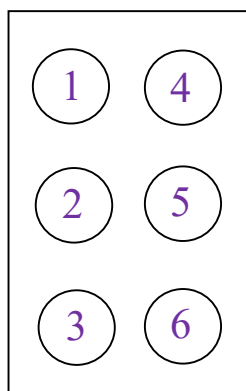


Figura 2.1 Generador Braille [16]

La Figura 2.1 presenta el signo generador, estructurado de manera lógica y con una disposición que se lee de derecha a izquierda, de arriba hacia abajo. Este signo está compuesto por una matriz de dimensiones 2x3, a través de la cual se pueden realizar distintas combinaciones de letras, símbolos y números mediante el uso de 6 puntos.

2.2.2 Origen del sistema Braille

El 4 de enero de 1809 nació Louis Braille, quien fue el creador del sistema de lectura y escritura táctil el cual hoy se conoce como sistema Braille en honor a su creador. En 1819 Louis Braille se matricula en una institución educativa dedicada para personas ciegas, la cual fue fundada por Valentín Haüy, en este periodo académico la institución contaba solo con 14 libros en formato táctil, pero estos eran demasiado grandes y difíciles de cargar, es por esto que en 1824 Louis Braille presenta su sistema de lectura de puntos en alto relieve, luego de varios años tratando de buscar un método eficiente y adecuado para la escritura táctil, logró presentar su código diseñado por una matriz de 6 puntos [17].

Para el año de 1829 Louis Braille continuó implementando diversas combinaciones de manera que fue capaz de reproducir la escritura de palabras sencillas y canciones simples que se reproduzcan a través de puntos, dedicando gran parte de su vida en el desarrollo de un sistema de comunicación para el beneficio de las personas con discapacidad visual [17].

2.2.3 Principios fundamentales del sistema braille [18]

- a) En ninguna combinación que se pueda formar debe incluirse un punto como separador o espacio entre palabras, números o cualquier carácter que se busque representar. En la Figura 2.2 se observa la palabra “amor”, destacando que en el sistema Braille no es necesario agregar puntos o símbolos adicionales para indicar espacio entre letras, simplemente se deja un pequeño espacio que puede ser identificado con la yema de los dedos, marcando así la separación entre las letras.

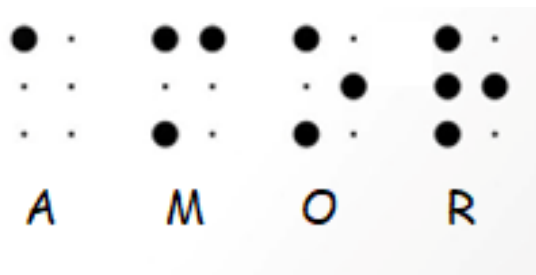
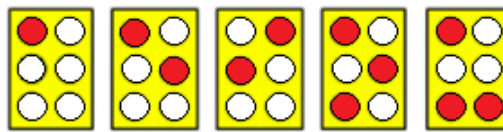


Figura 2.2 Representación de la palabra “amor” [19]

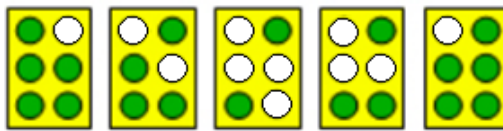
- b) Para representar el acento que incluyen las vocales, se ha incorporado letras en Braille con su respectiva puntuación, esto quiere decir que mediante el uso de otras combinaciones se puede formar una letra con acentuación. En la Figura 2.3 se presentan las vocales del sistema Braille con acento y sin acento junto con sus respectivas puntuaciones, lo que demuestra que, al añadir un acento a una vocal se incorporan más puntos o se modifica su puntuación. Por ejemplo, la vocal “a”, que normalmente se representa con una sola puntuación, al incluir acento se utiliza 5 puntos para su representación completa, por otro lado, para representar la vocal “i” sus puntuaciones varían con respecto a su estructura original.

Vocales sin acento



a e i o u

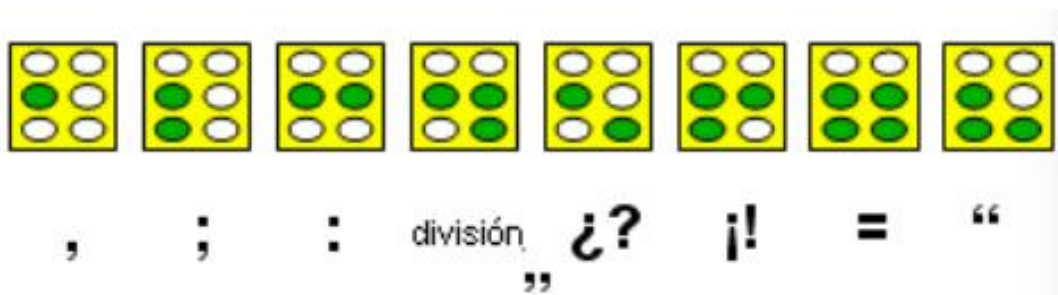
Vocales acentuadas



á é í ó ú

Figura 2.3 Vocales sin acento y acentuadas en Braille [20]

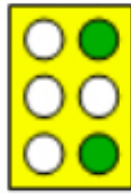
- c) Los signos de puntuación se representan con su respectiva combinación de puntos. En la Figura 2.4 se ilustran los signos de puntuación en sistema Braille, donde cada signo está representado por una combinación diferente. Estos signos son utilizados para separar ideas y frases en un texto, así como para indicar el tono de voz que se está utilizando para leer el texto.



, ; : división ¿? ¡! = “

Figura 2.4 Signos de puntuación en sistema Braille [20]

- d) Se ha determinado que para representar las letras mayúsculas se realiza mediante la puntuación 4 y 6. La Figura 2.5 muestra la celda Braille que representa el signo de mayúscula. Este signo se utiliza antes de cualquier letra para indicar que se encuentra en mayúscula. La ausencia de este signo indica que la letra estaría en minúscula, siguiendo la convención habitual para representar las letras en Braille.



**Signo de
mayúscula**

Figura 2.5 Signo de mayúscula en Braille

e) Para la formación de números en la Figura 2.6 se representa el prefijo establecido que se realiza mediante la formación entre los puntos 3, 4, 5 y 6 de esta manera se puede representar los números sin que tiendan a ser confundidos por letras.

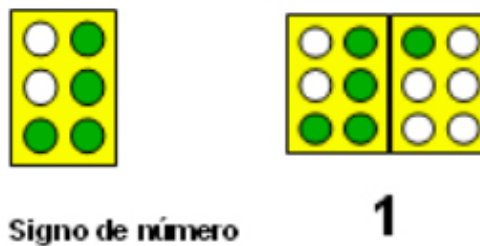


Figura 2.6 Prefijo de número en Braille [20]

2.2.4 Normativa Braille

Norma 2005

No existen tipos de letras cursivas, impresas, entre otras. Las palabras en sistema Braille no varían su tipo de letra, se antepone un signo el cual es el que señala el tipo de letra en el que se escribe. El tamaño de letra en sistema Braille se mantiene constante, la homogeneidad es esencial para el entendimiento del material escrito [21].

Tablas Braille

Para la escritura de caracteres, cada signo debe tener medidas que ya han sido establecidas. En la Figura 2.7 se observa las medidas entre cada puntuación de la celda Braille. Esto es esencial ya que determina la comprensión de los símbolos generados. La distancia entre puntos

es de 2,5mm. El diámetro de cada punto será 1,2mm, la distancia entre cada celda se ha establecido la medida de 10mm entre el primer punto de una celda Braille con el primer punto de la siguiente celda. Finalmente, la altura del relieve de cada punto ha sido establecido entre 0,50mm y 0,65mm [22].

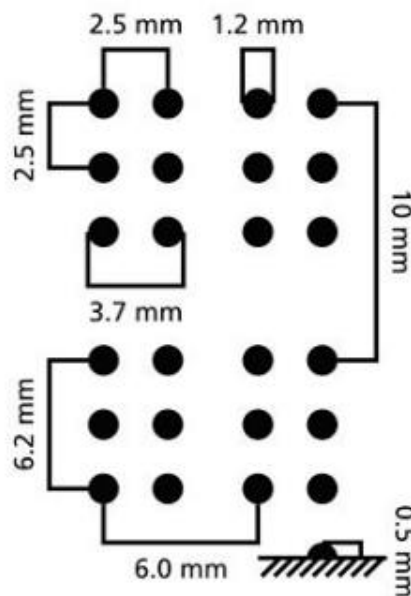


Figura 2.7 Medidas estándar para uso de la Celda Braille [23]

2.3 Métodos de enseñanza Braille [24].

A continuación, se presentan las características de los métodos de enseñanza en sistema Braille donde cada uno cuenta con sus respectivas normas. Sin embargo, es importante resaltar que se recomienda la adopción del método de lectoescritura en tinta. Esto se debe a que es el mismo método utilizado por los niños sin discapacidad visual. Al seguir esta práctica, los niños con discapacidad visual podrán adaptarse de forma más efectiva al entorno educativo y social convencional.

2.3.1 Alborada

Este método está diseñado para facilitar el aprendizaje de la lectura, las letras son representadas en un orden lógico y progresivo, acompañadas de una frase donde aumenta su

complejidad a medida que el usuario avanza en su formación pedagógica, su principio se basa en aprender a leer palabras y oraciones con significado.

El orden que presentan las letras se basa en la complejidad de los caracteres, se comienza por las vocales “a, o, u, e” luego de esto se presentan el resto de las consonantes, seguido de esto se muestran las letras especiales, es decir las que cuentan con acento y finalmente se presentan los signos de puntuación.

2.3.2 Bliseo

Este método está diseñado para la enseñanza en adultos que ya saben leer y escribir en tinta. Comienza con la comprensión del signo generador y luego va introduciendo las letras de la primera serie, desde la “a” hasta la “j”, luego incorpora el punto 3 y presenta las letras “k” a la “t” y finalmente se incluye el punto 6 y se presentan las 5 letras restantes.

2.3.3 Pergamo

Este método es diseñado para adultos que cuentan con discapacidad visual, se enfoca en optimizar la percepción de Braille y reducir confusiones, comienza con ejercicios para lograr la familiarización y la ubicación de cada punto en la celda Braille.

2.3.4 Punto a punto

Este método se presenta en castellano y en catalán. Consta de dos series de 5 y 4 tomos, respectivamente, en la primera serie presenta un programa prelectura y preescritura, la segunda se dedica a la enseñanza del sistema Braille.

Primera serie: se presentan ejercicios de prelectura para el reconocimiento de formas, tamaños y líneas de orientación, se presentan las letras en gran tamaño con el fin de que se pueda diferenciar las distintas letras y a medida que avanza se va disminuyendo el tamaño de sus letras a la forma original de escritura.

Segunda serie: se presentan una a una las letras del abecedario, se realizan ejercicios de reconocimiento táctil e identificación de cada letra. A medida que avanza el aprendizaje se van incluyendo palabras y frases con mayor complejidad.

2.3.5 Tomillo

Este método fue diseñado para introducir a los niños al mundo de la lectura Braille, se basa en adaptar el contenido de lectura de manera más relevante y buscar que exploren su tacto para que puedan diferenciar las distintas formas, el Tomillo se va ajustando a la edad de cada persona, a mayor edad se agregan nuevas frases y palabras para que se familiarice con la parte de lectura Braille.

Sigue una secuencia específica para la enseñanza de Braille, comenzando con las letras que son más fáciles de percibir al tacto, se evita presentar letras con dificultades fonéticas y letra simétricas, seguido de esto se busca incorporar símbolos. La representación de letras se realiza mediante un doble espacio con el fin de diferenciarlas.

2.4 Abecedario en Sistema Braille

2.4.1 Representación táctil de las letras en Braille

El alfabeto Braille es el principal medio de comunicación para personas con discapacidad visual, se realiza mediante la representación de 6 puntos en alto relieve, en una celda que se divide en tres filas por dos columnas tal y como se representa la Figura 2.8.

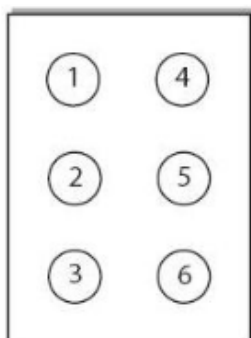


Figura 2.8 Puntuación de celdas en sistema Braille [25]

Incluir el sistema Braille en la vida de una persona no vidente, ayudaría en su formación académica y social, debido que es una herramienta que puede enseñar a leer y a escribir a una persona que así lo requiera por medio de este sistema, al combinar los 6 puntos en posiciones diferentes permite obtener 64 combinaciones diferentes, incluyendo números, letras o un carácter [26].

La persona no vidente coloca sus dedos sobre la superficie donde se representan los símbolos Braille y mediante la ubicación de cada punto puede determinar el carácter que se muestra [27].

Para representar el alfabeto Braille para una persona vidente, se muestra una pequeña celda de las cuales se pintan los puntos de la letra que se quiere representar, estos puntos no se encuentran en relieve ya que no es necesario para una persona que si puede ver [27].

Para la enseñanza del alfabeto Braille se realiza dividiendo el alfabeto en tres series:

Primera serie:

Corresponde a las primeras 10 letras del alfabeto que comprenden las puntuaciones 1, 2, 4 y 5, es decir que abarcan los primero cuatro espacios de la celda del signo generador, dependiendo de la ubicación del punto se podrá definir la letra [28].

En la Figura 2.9 se muestran las letras del alfabeto Braille correspondiente a las letras de la “a” a la “j”. Los puntos en relieve estan indicados por el circulo celeste. En este caso, las letras representadas se leen de izquierda a derecha.

Las letras abarcan las siguientes puntuaciones:

Letra a: puntuación uno.

Letra b: puntuación uno, dos.

Letra c: puntuación uno, cuatro.

Letra d: puntuación uno, cuatro, cinco.

Letra e: puntuación uno, tres.

Letra f: puntuación uno, dos, cuatro.

Letra g: puntuación uno, dos, cuatro, cinco.

Letra h: puntuación uno, dos, cinco.

Letra i: puntuación dos, cuatro.

Letra j: puntuación dos, cuatro, cinco.

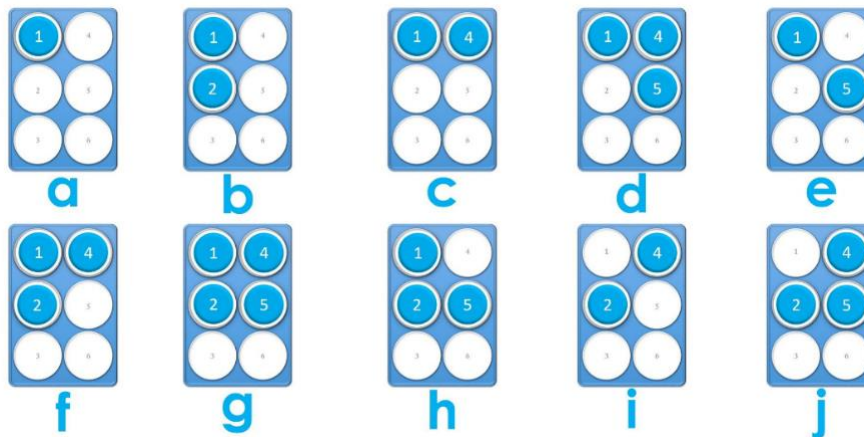


Figura 2.9 Primera serie del alfabeto en Braille [28]

Segunda serie:

La segunda serie es el resultado de agregar la posición 3 a las otras 4 posiciones anteriores, es decir se utilizarán las series 1, 2, 3, 4 y 5, dando como resultado la formación de las siguientes 10 letras del abecedario [29].

En la Figura 2.10 se ilustran las letras entre la “k” a la “t”. La secuencia lógica para esta serie implica la incorporación de una nueva puntuación, que corresponde a la puntuación tres. En este orden, se puede identificar las letras representadas gráficamente por el círculo celeste. Es

importante tener en cuenta que a medida que se agregan letras, ninguna de las puntuaciones existentes se repite.

Las puntuaciones de las letras corresponden a:

Letra k: puntuación uno, tres.

Letra l: puntuación uno, dos, tres.

Letra m: puntuación uno, tres, cuatro.

Letra n: puntuación uno, tres, cuatro, cinco.

Letra o: puntuación uno, tres, cinco.

Letra p: puntuación uno, dos, tres, cuatro.

Letra q: puntuación uno, dos, tres, cuatro, cinco.

Letra r: puntuación uno, dos, tres, cinco.

Letra s: puntuación dos, tres, cuatro.

Letra t: puntuación dos, tres, cuatro, cinco.

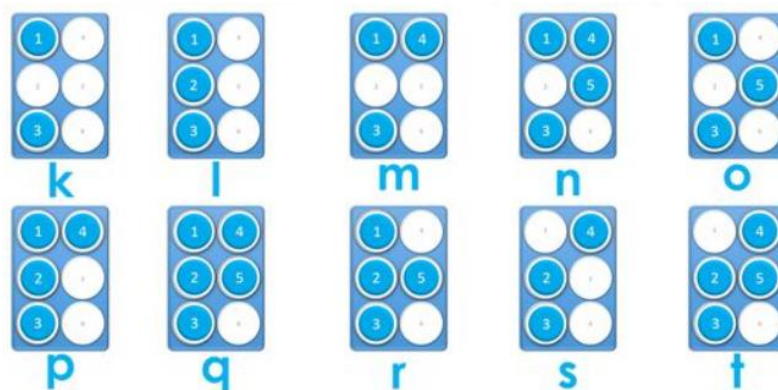


Figura 2.10 Segunda serie del alfabeto en Braille [29]

Tercera serie:

Para la serie final se le agrega la posición 6. En la Figura 2.11 se presenta las últimas cinco letras del alfabeto Braille, que van desde la “u” hasta la “z”. Esta secuencia sigue un orden lógico en el cual se añade una nueva puntuación, la puntuación seis, para lograr la representación de estas letras adicionales. Cada letra se ilustra gráficamente mediante un círculo pintado en celeste para una mejor identificación visual.

Correspondes a las siguientes puntuaciones:

Letra u: puntuación uno, tres, seis

Letra v: puntuación uno, dos, tres, seis

Letra x: puntuación uno, tres, cuatro, seis

Letra y: puntuación uno, tres, cuatro, cinco, seis

Letra z: puntuación uno, tres, cinco, seis

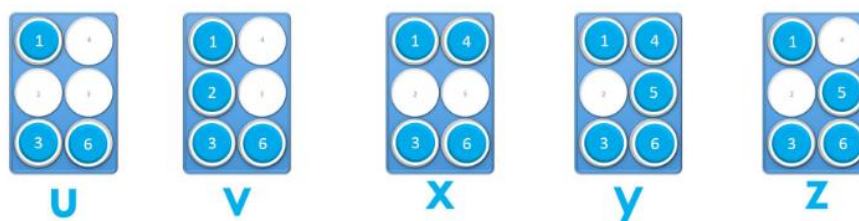


Figura 2.11 Tercera serie del alfabeto en Braille [30]

2.4.2 Modo lectura en Braille

Los niños no videntes desde temprana edad deben iniciar con su formación educativa de la misma forma que el resto de los niños. Sin embargo, el método de enseñanza de un niño ciego suele ser más complejo. La enseñanza del sistema Braille se basa en poder diferenciar el modo de lectura y escritura, ya que la forma de escritura es diferente a la lectura.

El sistema de lectura Braille utiliza el relieve para representar una letra, teniendo en cuenta la posición de cada punto en el signo generador, se lee de izquierda a derecha y las posiciones se identifican de arriba hacia abajo tal como se muestra en la Figura 2.12 este método se basa en aprender a detectar formas y memorizar las posiciones en la celda Braille.



Figura 2.12 Signo generados en modo de lectura [31]

Debido a que la lectura en Braille es un método netamente táctil y móvil, estos dos factores son esenciales para el aprendizaje de sistema Braille en lectura, hay que tener en cuenta que el movimiento de las manos varía dependiendo de la persona que este interpretando ya que todos los seres humanos cuentan con capacidades diferentes [32].

Para poder realizar la lectura Braille el movimiento que se realiza suele ser de tres tipos:

- Barrido progresivo: Se describe como un movimiento constante sin realizar cambios significativos en la velocidad, y debe mantenerse el dedo lector o dedo índice en contacto constante con la línea de texto en todo momento [32]
- Movimientos de cambio de línea: El dedo índice derecho es el encargado de identificar los caracteres finales de la línea de texto, mientras que el dedo izquierdo es el encargado de detectar los primeros caracteres que se presenten en el texto [32]
- Repasos: Este movimiento es aplicado para volver a dar una segunda lectura en busca de errores, o fallos que se hayan cometido en la primera pasada con el tacto, o para detectar si hubo una confusión en la ubicación de los puntos en la celda Braille [32].

2.4.3 Modo escritura en Braille

La escritura Braille se realiza de derecha a izquierda y de arriba hacia abajo, que sería básicamente lo contrario de la lectura en Braille, en la Figura 2.13 se ilustra la disposición de cada punto para el modo de escritura. La escritura Braille implica vacíos en una celda de 6 puntos, de manera que al voltear la hoja o material donde se está escribiendo, estos huecos puedan ser distinguibles por el tacto, permitiendo así la interpretación de lo que está escrito.



Figura 2.13 Signo generador en modo de escritura [31]

La escritura en Braille se realiza mediante el uso de una regleta, un punzón y un papel específicamente diseñado que permite la creación y la reproducción de puntos en relieve.

Punzón y regleta

La regleta y punzón son un conjunto de herramientas de escritura en Braille, la regleta se compone de 4 líneas y 24 celdas por cada línea, el punzón es formado por una cavidad cóncava para poder crear los puntos en el papel al momento de presionar sobre él. La medida de la regleta para Braille es de 22cm x 5,5 cm [33].

El inconveniente que se presenta con la regleta convencional es que al momento de escribir hay que darle la vuelta al papel a medida que se realiza la escritura. De tal manera que es obligatorio enseñar a los niños a identificar el alfabeto braille tanto en modo lectura como escritura, ya que el método de la regleta y el punzón se siguen utilizando en la actualidad como herramienta de escritura para personas no videntes [33].

Es importante destacar que los requisitos para el uso de la regleta y punzón Braille son:

- Conocer el alfabeto en Braille en modo de escritura, es decir de derecha a izquierda [33].
- Debe existir conocimiento previo de lectura en Braille para que a medida que se vaya escribiendo poder determinar si en modo lectura las letras tiene su ubicación correcta [33].
- Se requiere psicomotricidad, es decir, habilidad de realizar movimientos precisos y coordinados con las manos y con los dedos, se deben realizar movimientos pequeños y controlados con la finalidad de distinguir el tipo de carácter que se presenta [33].



Figura 2.14 Regleta y punzón [33]

En la Figura 2.14 se muestra el punzón y la regleta, dos instrumentos esenciales para escribir en hojas de papel utilizando el sistema Braille. Estos dispositivos permiten al usuario escribir palabras, frases, o símbolos de manera manual. La regleta proporciona una guía para alinear los puntos, mientras que el punzón se utiliza para crear los agujeros sobre el papel. Esta herramienta ha sido ampliamente utilizada como un método convencional para enseñar y practicar sistema Braille.

CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO

3.1 Enfoque y tipos de investigación

El presente trabajo de titulación se fundamentó en una investigación previa que tiene como objetivo abordar un problema específico mediante la formulación y aplicación de una solución determinada, la cual se expuso durante el desarrollo del documento. Se llevo a cabo una investigación de campo, respaldada por estudios, observaciones y capacitaciones realizadas en un centro especializado en la enseñanza de sistema Braille.

Se realizó una investigación documental de alta complejidad, mediante la recopilación exhaustiva de información relacionada con el sistema Braille y su metodología de estudio. Dichos conocimientos se orientan a su aplicación en el desarrollo del dispositivo propuesto. Simultáneamente, se llevó a cabo una investigación experimental, donde se monitorea el proceso de construcción del dispositivo. Durante esta fase experimental, se documentó las etapas de evolución del dispositivo, las pruebas realizadas, así como otras características significativas que deben ser resaltadas a lo largo de su ejecución.

La creación del dispositivo se fundamentó en un proceso estructurado que abarca las siguientes fases: recopilación de datos, análisis de metodología de estudio y enseñanza del sistema Braille, selección meticulosa de materiales, diseño y desarrollo del dispositivo, implementación de pruebas específicas y finalmente la elaboración de conclusiones. Cada una de estas etapas desempeña un papel crucial en la ejecución eficaz del dispositivo destinado a la enseñanza del alfabeto en sistema Braille.

3.2 Diseño de la investigación

A continuación, se presenta una descripción detallada de las actividades para alcanzar los objetivos planteados.

3.2.1 Definición de las propiedades del sistema Braille

En esta fase, se realizó una investigación detallada para adquirir un profundo entendimiento de las características, propiedades, y definiciones del sistema Braille, este proceso implica realizar entrevistas y consultas a expertos en Braille, así como a niños no videntes, quienes representan los usuarios principales de este dispositivo. El objetivo es recopilar información esencial que guíe el diseño y desarrollo del dispositivo.

Actividad 1. Revisión Bibliográfica

Para llevar a cabo esta actividad, se ejecutó una investigación compleja que aborda diversas fases del sistema Braille. Esto incluye el estudio detallado de sus características, las normas vigentes, las reglas fundamentales, sus atributos esenciales, su manera de enseñanza y los distintos métodos que se emplean para que el aprendizaje de sistema Braille logre tener una excelente comprensión.

Actividad 2. Entrevistas y consultas

Esta actividad se realizó a través de entrevistas dirigidas a personas con conocimiento en sistema Braille. Estas son importantes para la definición de la estructura en la interfaz del dispositivo. Además, se llevó a cabo una consulta con niños no videntes para identificar sus preferencias y expectativas respecto a las funcionalidades deseadas en el dispositivo. También se implementó sesiones de capacitación del alfabeto Braille, durante las cuales se pudo comprender los diversos modos existentes dentro de este sistema y las puntuaciones correctas de cada letra del alfabeto.

3.2.2 Diseño del sistema mecatrónico

Durante esta fase, se establecieron los requisitos del dispositivo a través de entrevista con educadores y usuarios potenciales, junto con un análisis de dispositivos existentes. Se realizó un prototipo del dispositivo que servirá para evaluar su funcionamiento y realizar ajustes

conforme a los requisitos identificados. Se solicitó asesoramiento de expertos en ingeniería, así como de educadores especializados en Braille, con el objetivo de obtener un diseño final que cumpla con las expectativas y necesidades del usuario.

Actividad 1. Definición de requisitos

Se llevó a cabo entrevistas con educadores y usuarios potenciales con el propósito de delinear los requisitos específicos para el dispositivo. Además, se efectuó un análisis exhaustivo de los dispositivos mecatrónicos existentes y su aplicabilidad, con el objetivo de obtener un dispositivo innovador. El análisis de requerimientos permitió la orientación en el diseño de la interfaz y las distintas funcionalidades del dispositivo, asegurando así una mayor satisfacción del usuario final.

Actividad 2. Prototipo y Modelado

El modelado del dispositivo se realizó con el fin de evaluar su ergonomía y funcionalidad, de modo que pueda ser ajustado según las funciones deseadas. Se efectuó utilizando software de diseño para obtener una configuración final, obteniendo como resultado un dispositivo capaz de enseñar el alfabeto en sistema braille de manera automática.

Actividad 3. Revisión por Expertos

En el contexto de esta actividad, se solicitó asesoramiento a expertos en mecatrónica y diversas disciplinas de ingeniería con el objetivo de obtener orientación para el desarrollo del dispositivo Braille. También, se necesitó del conocimiento de educadores en sistema Braille con el fin de definir las posiciones de las letras debido a que cambian de sentido en el modo de lectura y escritura. Los conocimientos de expertos proporcionaron una guía para el diseño y desarrollo del dispositivo, garantizando así su funcionalidad y usabilidad en base a las necesidades y estándares del usuario final.

3.2.3 Implementación de la interfaz de aprendizaje

En esta etapa, se llevó a cabo el desarrollo del software del dispositivo enfocado en los principios pedagógicos del sistema Braille, se desarrolló la programación de algoritmos para representar las puntuaciones de las letras del abecedario Braille.

Actividad 1. Desarrollo de Software

La programación del dispositivo se realizó tomando como base los principios pedagógicos de enseñanza del sistema Braille. Se implementó conocimientos específicos sobre la puntuación de cada letra del abecedario considerando su ubicación correspondiente. En el modo de lectura se determinó el relieve requerido para identificar de forma tangible la puntuación de cada letra. En el modo de escritura se estableció el vacío para simular la forma de escribir con punzón y regleta, asegurando una experiencia tradicional de escritura en el sistema Braille.

Actividad 2. Pruebas de Usabilidad

Se llevó a cabo pruebas iniciales para validar el desempeño del dispositivo en un grupo de personas con conocimiento en el sistema Braille. El propósito fue determinar su funcionamiento adecuado y realizar ajustes según las opiniones proporcionadas por expertos, además de implementar mejoras alternativas con base en resultados obtenidos.

3.2.4 Validación de funcionamiento del sistema

Durante la validación del funcionamiento del sistema, se realizó pruebas en personas no videntes y educadores en sistema Braille, con el fin de asegurar la efectividad del dispositivo, recopilando datos cuantitativos y cualitativos que fueron implementados como mejoras en el diseño y la interfaz del dispositivo.

Actividad 1. Pruebas con usuarios

Se efectuó pruebas con niños no videntes para asegurar el correcto diseño y funcionamiento del dispositivo. La finalidad de estas pruebas fue evaluar la efectividad de la interfaz, garantizando que sea la más adecuada para alcanzar las metas educativas propuestas. Además, el dispositivo fue presentado y evaluado por educadores en sistema Braille para que determinen la correcta puntuación de cada letra del abecedario.

Actividad 2. Recopilación y Análisis de Datos

En esta actividad, se recopiló datos cuantitativos y cualitativos para el desempeño del dispositivo con el propósito de realizar una evaluación exhaustiva de eficiencia del sistema implementado. Este enfoque analítico permitió obtener una comprensión más profunda de los resultados obtenidos.

Actividad 3. Iteración y Mejora

Con base en los datos recopilados, se llevó a cabo la implementación de mejoras necesarias, ajustando tanto el diseño como la interfaz en respuesta a los resultados obtenidos en las pruebas de funcionamiento.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 Especificaciones del sistema a diseñar

Se diseñó un dispositivo mecatrónico que cuenta con la capacidad de generar de manera automática las letras del alfabeto en Braille. Este sistema incorpora servomotores para presentar un relieve significativo en el modo de lectura, permitiendo diferenciar con el tacto cada letra presentada. También, se implementó un sistema de profundidad diseñado para el modo de escritura, con el objetivo de reconocer y familiarizarse con los agujeros formados durante el proceso de escritura.

A continuación, en la tabla 4.1 se observan los requerimientos específicos para el desarrollo del dispositivo, obtenidos por educadores con el conocimiento en sistema Braille y profesionales en ingeniería, el objetivo de este análisis fue destacar las partes principales y necesarias para su construcción, logrando el correcto funcionamiento del dispositivo.

Tabla 4.1. Análisis de requerimientos

| Análisis de requerimientos del dispositivo | | |
|--|---|---|
| | Requerimiento | Descripción |
| R1 | Creación de matrices según las normas | El dispositivo fue diseñado siguiendo las pautas establecidas para las matrices, las cuales deben tener una disposición de dos filas y tres columnas. Se realizó mediante el uso de tecnología de impresión 3D. |
| R2 | Relieve que permita una percepción táctil | Se incorporó un relieve que posibilite identificar la posición y forma predefinida. |
| R3 | Estructura resistente | La construcción del dispositivo se llevó a cabo utilizando filamento Tereftalato de polietileno glicol (PETG) impreso en 3D, con el objetivo de asegurar su durabilidad a lo largo del tiempo. |

| | | |
|-----|--------------------------------------|---|
| R4 | Definición de los modos de enseñanza | Para facilitar el uso del dispositivo, es importante destacar la existencia de dos modos, tanto para lectura como para escritura. Este enfoque se logró a través de la implementación de un menú. |
| R5 | Manejo fácil | El dispositivo es controlado mediante un botón rotativo y con ayuda de audio se podrá desplazar en los diferentes modos. |
| R6 | Menú de selección | Para la gestión eficiente del dispositivo, se creó tres menús distintos: “enseñanza”, “evaluación” y diversión”. Cada uno de estos menús se subdividen internamente para los modos de lectura y escritura. |
| R7 | Sistema de audio | Se incorporó un sistema de audio que sirve de guía para desplazarse dentro del menú, dándole a conocer cuál será el modo que estará seleccionando. |
| R8 | Modo de diversión | El presentar el alfabeto a los niños puede convertirse en algo cansando, por lo tanto, se incorporó una sección encargada de brindar entretenimiento para motivar su enseñanza. |
| R9 | Presentación de alfabeto en partes | La enseñanza del alfabeto a niños no videntes se realizó mediante 3 series, tanto para lectura como escritura, organizados de la siguiente manera; serie 1: las primeras 10 letras del abecedario (las letras que comprenden las puntuaciones 1, 2, 4 y 5), serie 2: las siguientes 10 letras (que componen las puntuaciones anteriores agregando la puntuación 3), serie 3: se presentan las letras restantes (se agrega la puntuación 6 de la celda Braille). |
| R10 | Retroalimentación auditiva | Se incorporó un sistema de retroalimentación por audio el cual repite las puntuaciones de cada letra en los distintos modos existente. |

4.2 Planteamiento de alternativa de solución

A continuación, se proporciona una descripción detallada del proceso de desarrollo que se realizó para la creación del dispositivo, concebido como la solución específica al problema que fue planteado.

4.2.1 Diseño

El dispositivo de aprendizaje del alfabeto en sistema Braille se compone de una matriz controlada a través de un sistema de audio y un encoder rotativo. Este encoder facilitó la navegación de los distintos menús del dispositivo, los cuales son: aprendizaje, evaluación y diversión.

El dispositivo incluye tres niveles predefinidos que son controlados por servomotores. En el nivel de lectura cuando el botón sobresalga se espera que el niño identifique la posición de los botones en relieve correspondiente a la letra presentada. En el nivel de escritura cuando el botón se contrae simula el método de punzón y regleta creando un vacío, lo cual permite al niño practicar la escritura. El nivel intermedio indica que la matriz está en cero, sin representar ninguna letra.

En el menú de enseñanza, para lectura y escritura, se llevó a cabo de manera automática en tres series, permitiendo al niño descansar entre cada una de ellas. Durante este proceso, el módulo presentará cada letra del abecedario con un tiempo específico, brindando al niño la oportunidad de reconocer la posición de la letra que se está presentando en ese momento.

En el menú de evaluación, se implementó una prueba para evaluar los conocimientos adquiridos, incorporando un botón semiautomático que al ser presionado deberá salir o entrar según corresponda al modo lectura o escritura respectivamente. Todos los procesos están guiados por avisos audibles que proporcionan al niño información sobre la opción que se está seleccionando.

Finalmente, se incorporó un tercer menú de diversión que puede ser ejecutado entre las series. Esto permite que el niño pueda disfrutar de momentos de entretenimiento durante su proceso de aprendizaje. La disposición de los menús se puede identificar en la Figura 4.1.

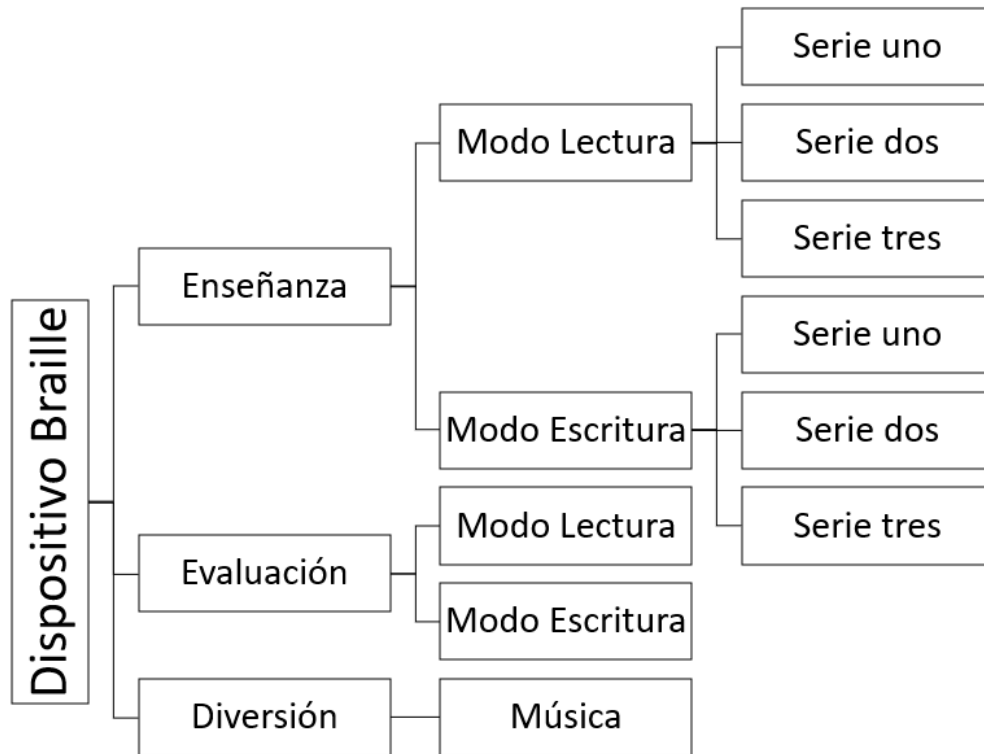


Figura 4.15 Estructura de menú del dispositivo

4.3 Especificaciones del sistema diseñado

4.3.1 Construcción de Hardware

La construcción del Hardware del dispositivo es una etapa muy crítica en su desarrollo, ya que implicó la selección correcta de los componentes electrónicos que sirvieron como base para el desarrollado del software. Se determinó un diseño óptimo para la interfaz que fue adaptada a los componentes seleccionados.

Se analizó las características necesarias de los componentes para el desarrollo del dispositivo, considerando su capacidad y funcionamiento, garantizando un rendimiento eficiente.

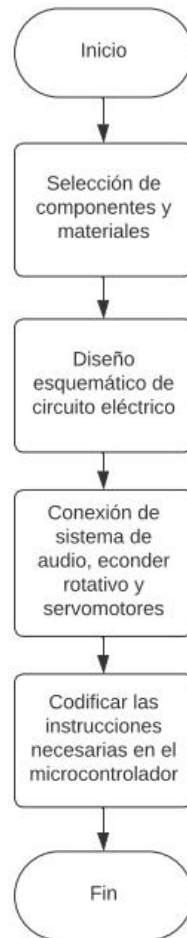


Figura 16 Construcción de Hardware

En la Figura 4.2 se visualiza el diagrama de flujo del proceso de construcción del Hardware del dispositivo de aprendizaje del alfabeto en sistema Braille. Comienza con la selección de componentes y materiales necesarios, seguido por la creación del diagrama esquemático del circuito, posteriormente, se procede a la conexión de los elementos externos como el sistema de audio (MF Player mini MP3 y Minialtavo), encoder rotativo, pulsadores, controlador de servos y servomotores al microcontrolador. Finalmente, se lleva a cabo la codificación del programa que controlará el funcionamiento del circuito.

A continuación, se detallan los componentes electrónicos que se utilizaron para el desarrollo de esta propuesta. Cada elemento es importante y fue empleado en base a sus especificaciones técnicas las cuales cumplieron con los objetivos requeridos.

Arduino Nano

Este tipo de Arduino que se observa en la Figura 4.3, fue seleccionado por sus dimensiones ya que al ser pequeño encaja perfectamente en la carcasa del dispositivo y también su número de pines resulto suficiente para las conexiones de todos los componentes.

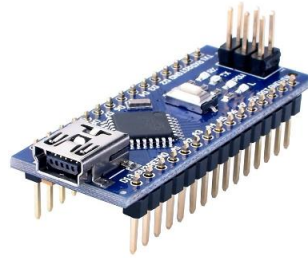


Figura 17 Arduino Nano [34]

Además, tiene una característica esencial donde su microcontrolador ATmega32P cuenta con una capacidad de almacenamiento de 32 Kbyte ideal para la codificación de la interfaz. En la Tabla 4.2 se muestra las especificaciones técnicas del Arduino Nano.

Tabla 4.2. Especificaciones técnicas de Arduino Nano [34]

| Especificaciones de Arduino Nano | |
|----------------------------------|----------------------------------|
| Microcontrolador | ATmega32P |
| Chip de comunicación | CH340G |
| Entradas salidas digitales | 14 pines, TX, RX, D2-D13 |
| Pines de salida PWM | 6 pines D3, D5, D6, D9, D10, D11 |
| Pines de transmisión lineal | 2 pines, TX RX |
| Tamaño | 45 x 18 mm |
| Alimentación externa | 5V |

Power HD mini digital Servo 1810MG

Este tipo de servo que se observa en la Figura 4.4, fue elegido por su tamaño y capacidad de torsión ya que necesita mover piñones para la salida y entrada de las cremalleras. También

cuenta con ángulos mecánico de rotación de 180 grados suficientes para el movimiento destinado.



Figura 18 Servomotor mini 1810 MG [35]

Además, cuenta con electrónica de control digital que permite un mayor desempeño, el eje de salida esta soportado por un rodamiento de bolas, mientras que parte de la caja y el conjunto de engranes están fabricados con materiales metálicos los cuales aseguran una mayor resistencia [36]. En la Tabla 4.3 se observa las especificaciones técnicas del Servomotor.

Tabla 4.3. Especificaciones técnicas de servomotor [36]

| Especificaciones del Power HD mini digital Servo 1810MG | |
|---|----------------|
| Tipo de motor | Servomecanismo |
| Medida | Mini |
| Tipo de servomecanismo | Digital |
| Medidas | 22,8x12x29,4mm |
| Modos de material | Metal |
| Velocidad | 130ms/60° (6v) |
| Momento de rotación | 3,1kg/cm (6v) |
| Clase de rodamiento | De bolas |
| Cantidad de rodamientos | 1 |
| Longitud de cable | 250 mm |
| Angulo mecánico de rotación | 145° |
| Conector | JR |

Módulo controlador de servos PCA9685

En la Figura 4.5 se observa el Módulo controlador de servos el cual fue usado para abastecer la energía que consume los 6 servomotores y evitar perturbaciones en el funcionamiento de estos.

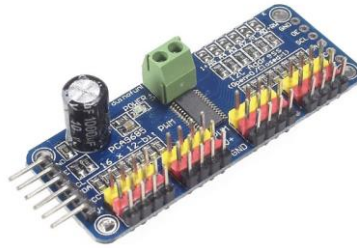


Figura 19 Modulo controlador de servos [37]

También permite el control a través de Modulación por ancho de pulso (PWM), además, cuenta con una bornera para la alimentación externa de los servos y una interfaz I2C para la comunicación con el Arduino[37]. En la Tabla 4.4 se visualiza las especificaciones técnicas del controlador de servos.

Tabla 4.4. Especificaciones técnicas del controlador de servos [38]

| Especificaciones del controlador PCA9685 | |
|--|---|
| Voltaje de operación | 5V |
| Interfaz | I2C |
| Bornera de conexión | Voltaje de alimentación |
| Diseño de conector I2C | Para utilizar varios módulos con el mismo BUS |
| Frecuencia de PWM | 1,6 KHz |
| Salida | 12 bits de resolución |
| Salidas configurables | Push-Pull |

Pulsador de dos pines

En la Figura 3.6 se muestra el pulsador con dimensiones pequeñas que fue de mucha ayuda para su colocación en la carcasa del dispositivo.



Figura 20 Pulsador de patas largas de dos pines [39]

Este tipo de pulsador Normalmente abierto (NO) fue utilizado para poder activar los movimientos de los servomotores. En la Tabla 4.5 se observa las especificaciones técnicas del pulsador de dos pines.

Tabla 4.5. Especificaciones técnicas del pulsador de patas largas de dos pines [39]

| Especificaciones de Pulsador de dos pines | |
|---|----------------|
| Voltaje Max | 12V DC |
| Función | Momentáneo 1NO |
| Terminal | SMD |
| Color | Negro |

Módulo DFPlayer Mini

Este dispositivo que se observa en la Figura 4.7 es un pequeño reproductor de archivos Mp3, está diseñado para la reproducción de música a partir de una tarjeta MicroSD, se puede controlar de manera autónoma a través de botones y una fuente de energía, o mediante una conexión USB [40].

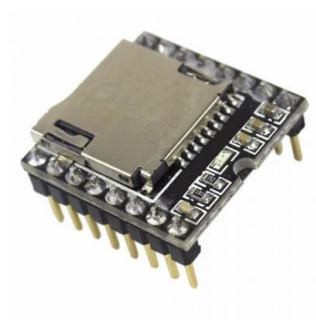


Figura 21 Modulo MP3 mini [40]

Además, es compatible con placas de desarrollo de Arduino como otros microcontroladores que dispongan de puertos UART [40]. En la Tabla 4.6 se muestra las especificaciones técnicas del módulo MP3.

Tabla 4.6. Especificaciones técnicas del Módulo MP3 Mini [40]

| Especificaciones de Módulo DFPlayer Mini | |
|--|---------------|
| Niveles de volumen | 30 niveles |
| Niveles de ecualización | 6 niveles |
| Máximo de canciones | 255 |
| Carpetas en tarjeta SD | 100 |
| Formato | FAT16 Y FAT32 |
| Compatible | MP3, WAV, WMA |
| Compatibles SD | Hasta 32 GB |
| Bocina | Máximo de 3W |

Minialtavo 3w-4ohm

El dispositivo que se observa en la Figura 4.8 es un minialtavo compatible con el módulo MP3 visto en el apartado anterior, diseñado con una impedancia de 4 ohm que genera una potencia de 3w proporcionando un sonido nítido y alto, lo cual garantiza una gran calidad de audio.



Figura 22 Minialtavo [41]

Asimismo, está construido con un diagrama de papel y una bobina de cobre lo cual garantiza durabilidad y resistencia, en su interior dispone de un imán de alta calidad que asegura la respuesta de frecuencia nítida y precisas del sonido [41] En la Tabla 4.7 se observa las especificaciones técnicas del minialtavo.

Tabla 4.7. Especificaciones técnicas del Minialtavo [41]

| Especificaciones del Minialtavo 3W-4ohm | |
|---|-----------------------|
| Emisión de señales sonoras | Frecuencia alterna |
| Terminales | Alambres de soldadura |
| Compatible | Amplificado de Sonido |
| Estructura | Plástica |
| Imán | Calidad alta |
| Potencia | 3W RMS |
| Impedancia | 4ohmios |

Sensor encoder rotativo

En la siguiente Figura 4.9 se observa un botón rotativo que fue usado para moverse entre las diferentes opciones del menú preestablecidas y a su vez para poder seleccionar los modos.

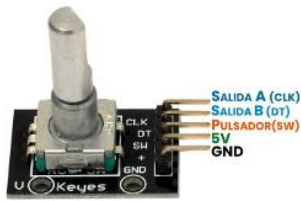


Figura 23 Botón encoder rotativo [42]

Es un tipo de botón rotativo que utiliza tecnología óptima, su estructura se encuentra formada por un disco codificador con patrones y pines que proporcionas señales de salidas los cuales permiten medir la rotación [42]. En la Tabla 4.8 se muestra las especificaciones técnicas del botón encoder.

Tabla 4.8. Especificaciones técnicas del botón encoder rotativo [42]

| Especificaciones del botón encoder rotativo | |
|---|------------|
| Voltaje de alimentación | 5v |
| Corriente | 10mA |
| Desfase entre señal A Y B | 90 |
| Rotación angular | 30 |
| Ciclos por Resolución (CPR) | 20 |
| Dimensiones | 20x30x30mm |
| Peso | 9g |

4.3.2 Construcción del software

En el diseño del software se define el lenguaje de programación donde se necesitó reconocer la esquematización de cada componente, previa selección se dio en el apartado de construcción del hardware. Se utilizó el software Arduino para desarrollar la interfaz del dispositivo, siendo un lenguaje muy completo y compatible con los componentes, asegurando la efectividad en la solución final.

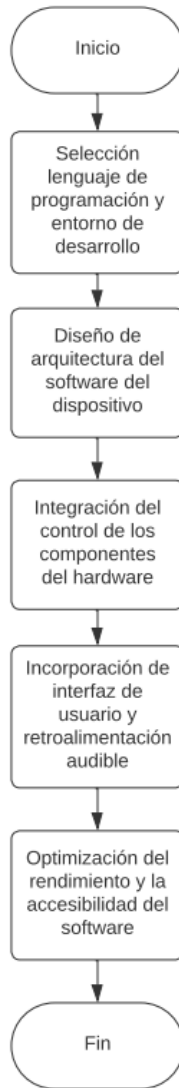


Figura 24.10 Diseño de Software

En la Figura 4.10 el diagrama de flujo describe el proceso del diseño de software para un dispositivo de aprendizaje del alfabeto en sistema Braille. Comienza con la selección del lenguaje de programación, seguido del diseño y estructura de las líneas de código. Después, la integración de los componentes que fueron seleccionados para el control del dispositivo, posterior se incorpora el sistema de audio, finalmente optimización de líneas de código para mejorar el funcionamiento del dispositivo.

4.4 Construcción

En la figura 4.11 se visualiza el diagrama de flujo del funcionamiento. Inicia con el reconocimiento de la configuración del dispositivo donde el usuario interactúa con los menús existentes: enseñanza, evaluación y diversión. Después, se procesan las entradas mediante la presión o giro del botón encoder rotativo para la selección de un menú, enviando la señal al microprocesador para su ejecución, lo que implica exponer letras en la matriz Braille, presentar pruebas de evaluación y proporcionar actividades de entretenimiento. Finalmente, el dispositivo proporciona retroalimentación al usuario mediante indicaciones audibles.

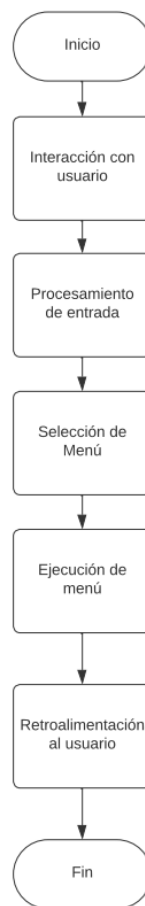


Figura 25 Funcionamiento general del dispositivo

4.4.1 Diseño de carcasa

Para el diseño de la carcasa se escogió el material PETG que a pesar de ser flexible puede modificarse para adoptar una forma rígida y resistente. Sabiendo que el dispositivo será manipulado por niños se utilizó un relleno de 70% para su fabricación, también se consideraron redondeos como medida de seguridad para prevenir posibles lesiones y reducir los daños en caso de golpes o caídas.

La carcasa del dispositivo se construyó para ser portátil con las siguientes dimensiones $y=185\text{mm}$, $x=120\text{mm}$ y $z=136\text{mm}$, como se puede observar en la Figura 4.12. Se consideró el tamaño de los componentes electrónicos, el tamaño de los mecanismos y la estructura interna con el fin de evitar interrupciones. Por lo tanto, está compuesta por dos partes la tapa y su base.

La tapa se diseñó con una matriz de 2x3 ubicada en la parte central sirviendo como guía para los botones. Se diseñó con un espesor de 4 mm para que los mecanismos tengan libertad de movimiento. Además, tiene incorporado en la parte inferior derecha el espacio para el botón rotativo tomando en cuenta que es un lugar cómodo para el usuario.

La base se diseñó con el propósito de alojar los componentes electrónicos y la estructura interna. En la parte superior de la carcasa se agregaron perforaciones destinadas al sistema de audio, sistema de carga y el switch.

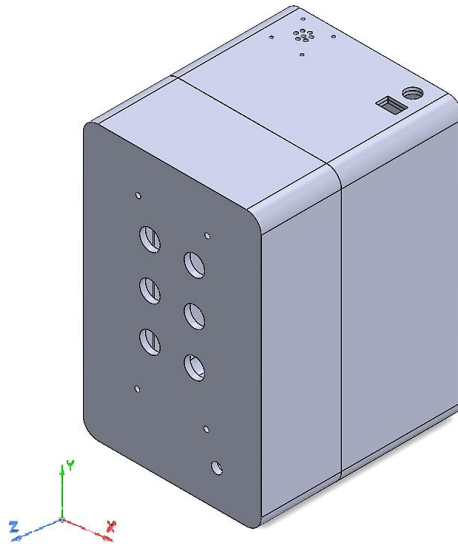


Figura 26 Tapa posterior y delantera del dispositivo

4.4.2 Diseño de la estructura interna

En la Figura 4.13 se observa la estructura interna del dispositivo usando el mismo material PETG para su construcción. Se elaboró con una base rígida que alberga los servomotores, botones, pulsadores y mecanismos. Además, se diseñó con el fin de que el mecanismo pueda moverse con facilidad dentro de la estructura, asegurando un funcionamiento fluido y eficiente del dispositivo en conjunto. También se realizó perforaciones para que encajen perfectamente con la tapa de la carcasa para mayor soporte en la ejecución de cada proceso.

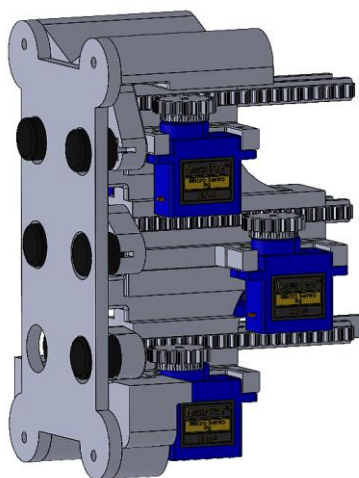


Figura 273 Estructura interna del dispositivo

La estructura cuenta con una tablilla que actúa como guía para los botones, tal como se observa en la Figura 4.14. La misma que sirve para definir el recorrido del botón al activarse mediante la interacción del mecanismo piñón-cremallera en conjunto con el servo. Esta tablilla también determina los niveles de movimiento disponibles para el dispositivo (medio, relieve y vacío), permitiendo establecer la precisión de los movimientos que podrá realizar el botón en respuesta a las acciones del usuario.

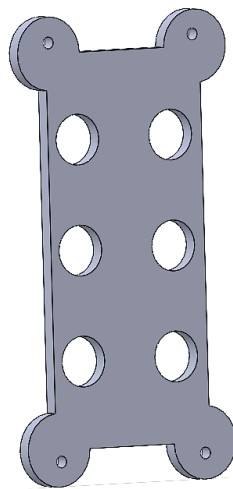


Figura 28 Tablilla de guía para botones

4.4.3 Diseño mecánico

Mecanismo

Para el diseño del mecanismo piñón-cremallera se tomó como referencia los cálculos realizados por Santacruz (2020) que fueron validados a través de pruebas de funcionamiento, resultando apropiado para la implementación en el dispositivo. El mecanismo ejecuta el nivel medio que representa un estado neutro, el nivel de relieve del modo lectura y el nivel de vacío del modo escritura, tal como se puede observar en la Figura 4.15.

El mecanismo piñón-cremallera se emplea comúnmente en dispositivos para la conversión del movimiento rotativo a lineal. Está conformado por un engranaje circular, denominado piñón y un engrane dentado conocido como cremallera. La aplicación de fuerza al piñón produce un

giro que se transmite directamente en la cremallera, generando así el movimiento lineal deseado [43].

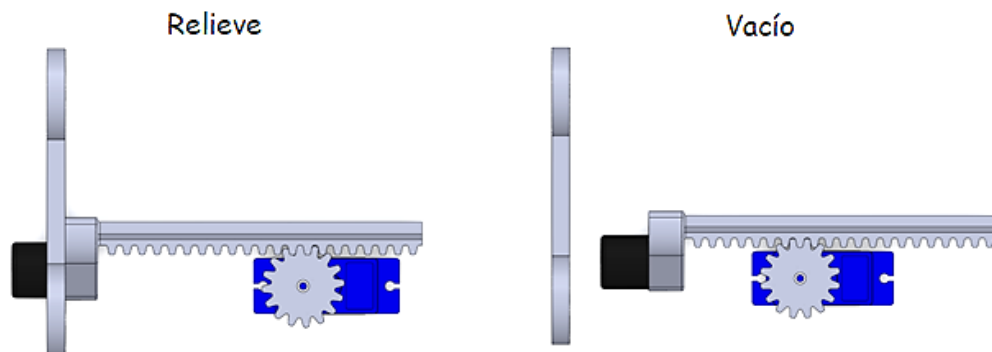


Figura 295 Nivel de relieve y nivel de vacío de botones

Cálculos del mecanismo

En la Tabla 4.9 se detallan los datos más relevantes para el diseño del mecanismo piñón-cremallera, los cuales fueron determinados por Santacruz (2020), para establecer las medidas específicas del mecanismo que se implementó en el dispositivo [44].

Tabla 4.9. Datos de mecanismo piñón-cremallera.

| Engranaje | Piñón-cremallera |
|---------------------------|----------------------------|
| Diámetro primitivo = 16mm | Factor de seguridad = 1,25 |
| Numero de dientes = 16 | Ancho de diente = 1,57mm |
| Cabeza = 1mm | Espesor de diente = 4,55mm |
| Raíz = 1,25mm | |
| Altura de diente = 2,25mm | |

Ensamble del dispositivo

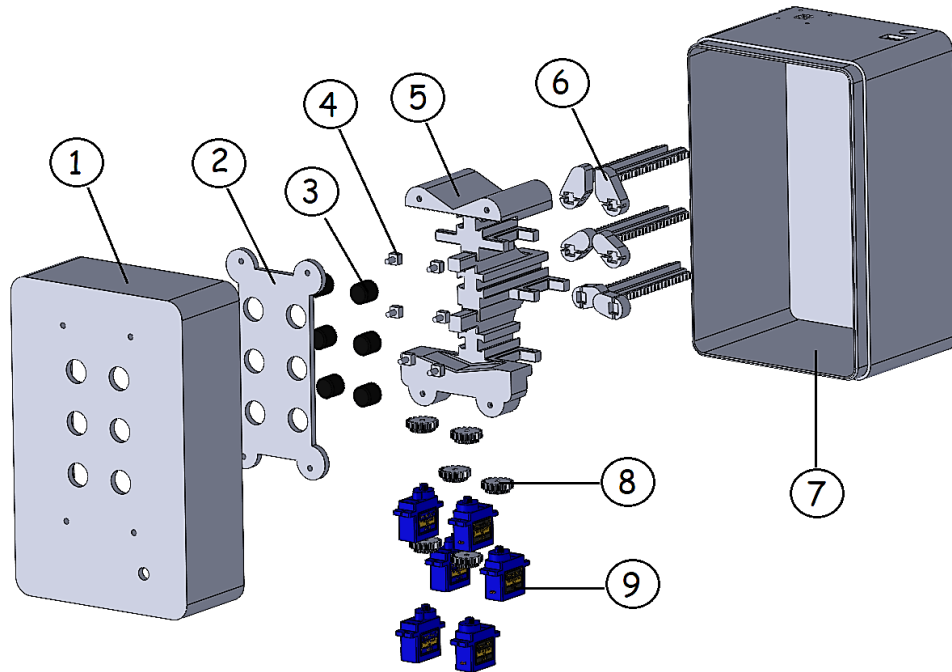


Figura 306 Ensamble general del dispositivo

En la Figura 4.16 se observa el Ensamble del dispositivo, el cual abarca los elementos de accionamiento, los mecanismos, y componentes electrónicos. En la Tabla 4.10 se describe el número de elementos de cada componente. Estos son los que ejecutan las acciones dentro del dispositivo.

Tabla 4.10 Componentes del dispositivo

| N. de elemento | Nombre | Cantidad |
|----------------|--------------------|----------|
| 1 | Tapa | 1 |
| 2 | Tablilla | 1 |
| 3 | Tapón | 6 |
| 4 | Pulsadores | 6 |
| 5 | Estructura interna | 1 |
| 6 | Cremallera | 6 |
| 7 | Base | 1 |
| 8 | Piñón | 6 |
| 9 | Servomotores | 6 |

4.4.4 Diseño electrónico

Para el diseño electrónico es importante destacar la colaboración armónica que se requiere entre los componentes de accionamiento, el sistema de control y la programación, quiere decir que es necesario que todos los dispositivos de entrada como de salida deben tener una lógica de conexión de acuerdo con los menús que se establecen.

Enseñanza

El menú de enseñanza se ejecuta de manera automática, donde los servos actúan mediante la conexión de la placa de salida PCA9685. Esta placa enviará la señal para el accionamiento de los servos, los cuales crean el relieve o el vacío según el modo que se haya seleccionado. El sistema también debe ir conectado al Modulo Player mini mp3, el cual contiene audio en formato MP3 que reproduce la parte audible para que el usuario pueda ser guiado.

En la Figura 4.17 el diagrama de flujo ilustra el procedimiento para interactuar con el menú de enseñanza. La secuencia inicia con la selección del menú de enseñanza, seguido por la selección del modo de operación ya sea lectura o escritura. En el modo de lectura, el usuario tiene la capacidad de optar por diversas series para aprender a leer, accionando la salida automática del botón correspondiente. En el modo de escritura, de la misma manera el usuario puede seleccionar una de las series, lo que implica la ejecución automática de la entrada del botón correspondiente.

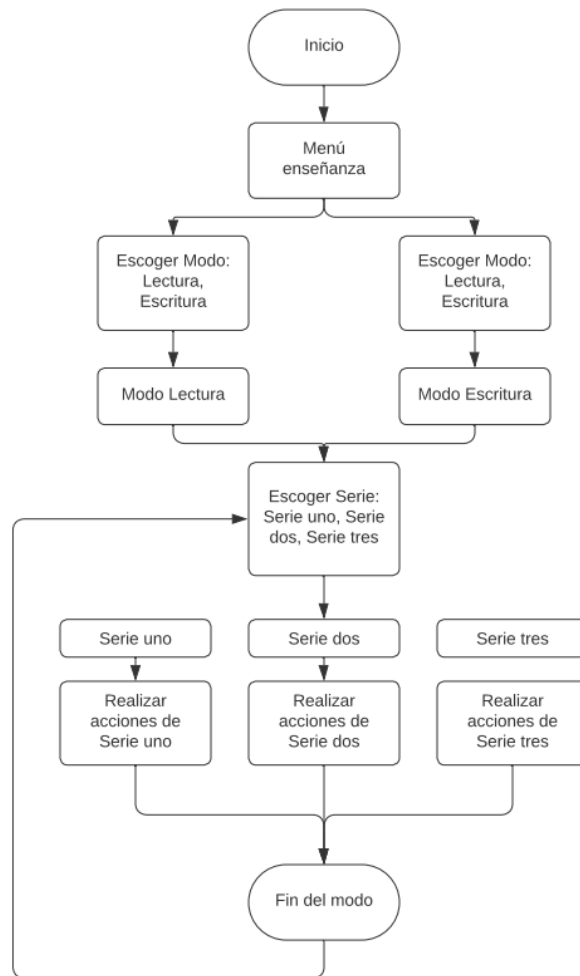


Figura 31 Menú de enseñanza

Evaluación

En el menú de evaluación están incorporados botones semiautomáticos los cuales al ser aplastados enviarán la señal al microprocesador para el accionamiento de los servos que crearán el relieve o el vacío según el modo seleccionado. Este sistema también estará conectado al módulo MP3 sirviendo como guía auditiva para el usuario.

En la Figura 4.18 se observa el diagrama de flujo del funcionamiento del menú de evaluación. El usuario puede escoger entre los modos de lectura o escritura, donde el dispositivo solicita que pulse una letra, además cuenta con la capacidad de felicitarlo y avanzar con la siguiente letra o corregirlo en el caso de que haya pulsado los botones incorrectos y volver a intentarlo. Este menú genera letras aleatorias que el usuario debe identificar y pulsar. La

finalización de la evaluación ocurre cuando el botón rotativo es accionado interrumpiendo el ciclo.

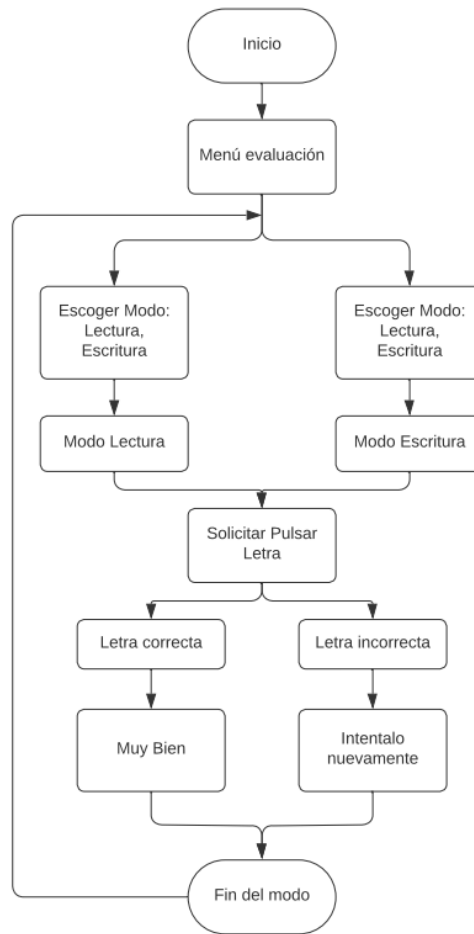


Figura 3218 Menú de evaluación

Diversión

Se incorporó un tercer menú de diversión mediante la conexión MF player mini, el altavoz y los archivos MP3 con el propósito de garantizar un proceso de enseñanza entretenido. En la Figura 4.19 se observa el diagrama de flujo que inicia con la selección del menú de diversión, después la acción inmediata de reproducción de una música. Este procedimiento finaliza al terminar la canción o con la interrupción mediante el accionamiento del botón rotativo.

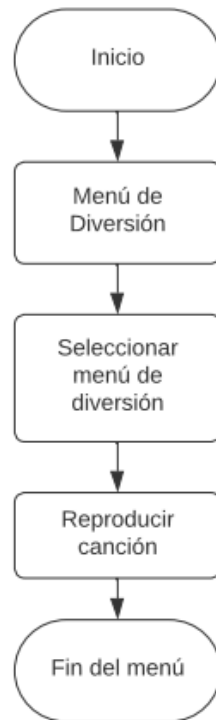


Figura 33 Menú de diversión

Esquema eléctrico

En la Figura 4.20 se observa el esquema de conexión, donde se conecta el Arduino Nano con los seis servos motores a través del módulo PCA9685 conectados a los puertos 4, 7, 9, 11, 13 y 15. Este sistema funciona mediante el botón rotativo que facilita la navegación de los menús, mientras que el reproductor mini Player Mp3 conectado al altavoz proporciona una instrucción auditiva. Por último, se efectúa la configuración de los pulsadores y las conexiones a tierra y señal.

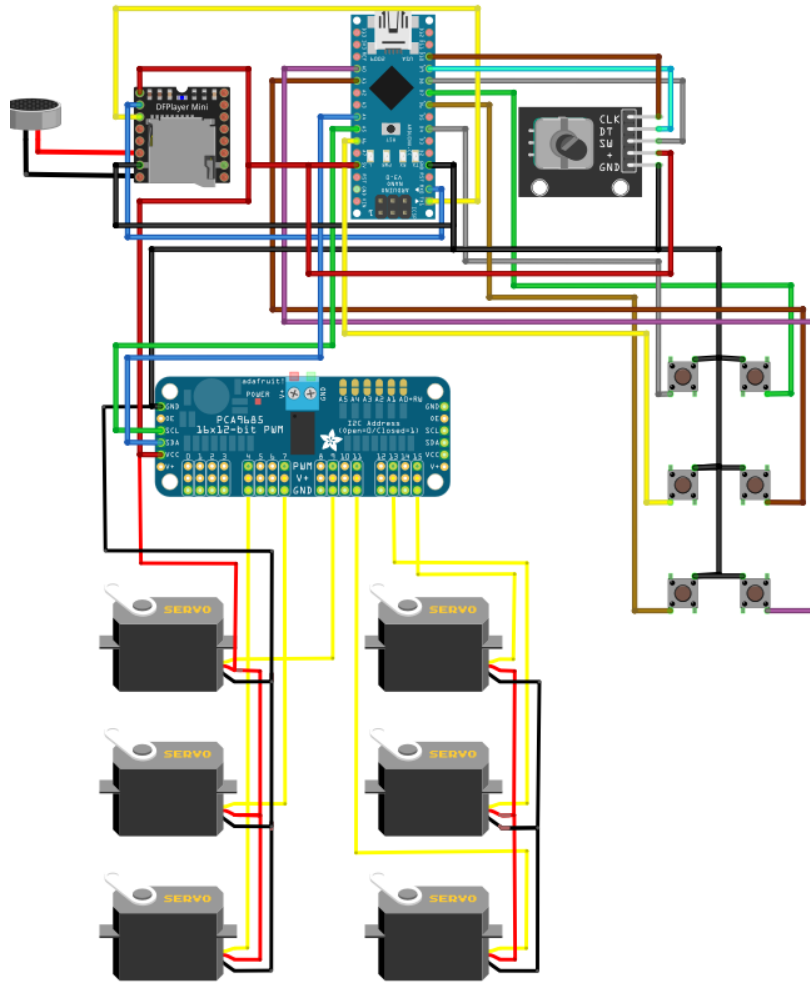


Figura 34 Esquema de conexión del dispositivo

4.4.5 Diseño de control

Control de servos: Para el control de los servomotores se realiza mediante la conexión del microcontrolador, el controlador de servos y los servomotores. Para el desarrollo de la programación se utiliza la clase Adafruit_PWMServoDriver la cual es utilizada para controlar los seis servos del dispositivo Braille. De esta clase se introducen funciones como: `setServo ()` para establecer la posición de un servo en particular, `MoverServo ()` la cual se encarga de mover un servo a una posición específica con un retardo ajustable y por último `InicializarServos ()` para colocar todos los servos en una posición inicial. En la Figura 4.21 se observa de manera detallada las conexiones entre el microcontrolador, la placa de control y los seis servomotores.

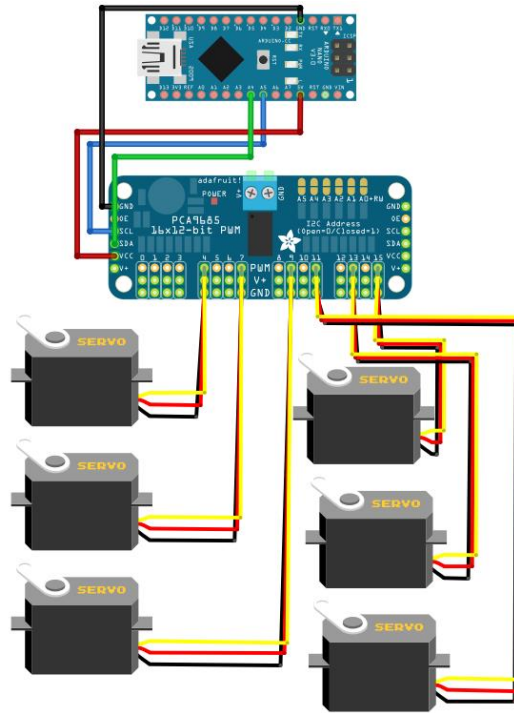


Figura 35 Conexión de componentes electrónicos para el control de servomotores

Calibración de servomotores: El dispositivo tiene implementado una programación que permite la calibración de los servomotores en caso de experimentar alguna interrupción temporal o desequilibrio en los niveles que puedan afectar la alineación entre el piñón y la cremallera. Esta calibración se realiza de manera manual mediante el ingreso de ángulos en el monitor serial para ajustar los servomotores. A través de la comunicación serial, se establece un punto de referencia inicial (nivel medio) desde el cual se determina el ángulo necesario para activar el modo de lectura o escritura. Es esencial llevar a cabo este proceso con precaución, ya que cualquier interrupción en el servo podrían afectar el funcionamiento del dispositivo y provocar interferencias con otros componentes.

En la Figura 4.22 se observa la programación que se utilizó en la calibración de los servomotores mediante la pantalla del monitor serial donde se realizó las pruebas de movimiento y se determinó el ángulo o posición final de cada servo.

```
Arduino Nano
NANO:LCDFINAL.ino - audio_tracks.h
75 // Los angulos estan calibrados en base al di
76
77 #define SERVO_A 15
78 #define SERVO_B 13
79 #define SERVO_C 11
80 #define SERVO_D 9
81 #define SERVO_E 2
82 #define SERVO_F 0
83
84 #define SERVO_A_UP 5
85 #define SERVO_A_ZERO 30
86 #define SERVO_A_DOWN 55
87
88 #define SERVO_B_UP 7
89 #define SERVO_B_ZERO 32
90 #define SERVO_B_DOWN 57
91
92 #define SERVO_C_UP 25
93 #define SERVO_C_ZERO 55
94 #define SERVO_C_DOWN 85
95
96 #define SERVO_D_UP 102
97
Output Serial Monitor x
Message (Enter to send message to 'Arduino Nano' on 'COM6')
Valor 1: 1
Valor 2: 30
Cadena recibida: 1,32
Valor 1: 1
Valor 2: 32
```

Figura 36 Código para calibración de servos.

Control del dispositivo: Es necesario importar las librerías adecuadas para controlar los distintos componentes empleados en este sistema. En la Figura 4.23 se describe el diseño del control del dispositivo, lo cual comprende una gran variedad de funciones y características. Primero, se debe incluir las bibliotecas necesarias y definir variables globales que servirán como marcadores de estado y control. Se usó las siguientes variables: `flagSonido ()`, `flagMenu ()`, `habilitarSonido ()`, ya que son esenciales para gestionar la reproducción de sonidos y selección de menús.

Para la comunicación externa es importante la lectura de comandos desde el puerto serial hacia el dispositivo utilizando la función `leerSerial ()` ya que facilita la recepción y ejecución de comandos enviados a través del puerto serial. Finalmente, para el control del dispositivo se incluye manejo de interrupciones y temporizadores para la gestión de eventos y acciones de

manera asíncrona. Esto se aplica cuando el dispositivo se enfrenta a múltiples entradas simultáneas.

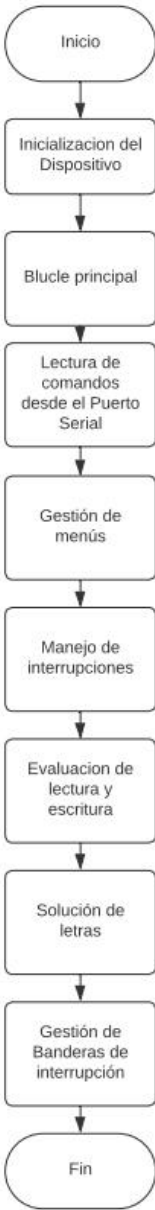


Figura 37.23 Diseño de control del dispositivo

4.5 Pruebas

4.5.1 Tiempo de respuesta del dispositivo

Para las pruebas del tiempo de respuesta del dispositivo. Se consideró:

- El tiempo de encendido, que comprende desde el inicio del proceso de arranque hasta el final de la reproducción del audio de introducción.
- El tiempo en el menú de enseñanza, requerido para la ejecución de las letras en tres series durante el modo de lectura y escritura.
- El tiempo en el menú evaluación, para la ejecución de cada letra una vez que la letra haya sido reconocida correctamente.
- Finalmente, se considera el tiempo de menú de diversión, implica la reproducción de una canción destinada a distraer al usuario.

Es importante destacar los tiempos de respuestas donde se calculó el promedio basado en un número de pruebas realizadas. Este enfoque de promediado garantiza una evaluación más precisa del rendimiento temporal del dispositivo. En la Tabla 4.11 se detallan los datos del tiempo de respuesta del dispositivo. En base a los resultados se puede concluir que el dispositivo emplea tiempos ideales para que el usuario procese la información.

Tabla 4.11. Tiempo de respuesta del dispositivo

| Acción | Tiempo de respuesta (s) |
|--|-------------------------|
| Tiempo de encendido y ejecución de audio | 7,50 |
| Tiempo de ejecución de letras en modo lectura y escritura serie uno | 4,55 |
| Tiempo de ejecución de letras en modo lectura y escritura serie dos | 5,63 |
| Tiempo de ejecución de letras en modo lectura y escritura serie tres | 6,43 |
| Tiempo de corrección de letras en modo evaluación para lectura | 5,25 |
| Tiempo de corrección de letras en modo evaluación para escritura | 5,36 |
| Tiempo de ejecución de modo diversión | 13380 (2,23min) |

4.5.2 Resultados de pruebas de campo

Las pruebas de campo fueron realizadas en la Asociación de no Videntes Imbabura, como se puede observar en la Figura 4.24 donde el dispositivo fue sometido a evaluación por un grupo

de 10 personas. Este grupo incluyó tanto personas con discapacidad visual como educadores con experiencia en Sistema Braille, cuya participación fue fundamental para determinar la eficiencia y funcionalidad del dispositivo. Tras el uso de este, se llevó a cabo una encuesta relacionada con aspectos técnicos como el diseño, las dimensiones, y otros aspectos relevantes del dispositivo.



Figura 38 Pruebas de campo realizadas en la Asociación de no Videntes de Imbabura

La encuesta consta de 11 preguntas, las cuales proporcionaron datos que permitieron realizar un análisis exhaustivo basado en las respuestas de las personas encuestadas. Este análisis se enfocó particularmente en cómo se adaptaron a la enseñanza proporcionada por el dispositivo, la facilidad de manejo, la importancia de la retroalimentación auditiva y las posiciones correctas de signo generador. Estos aspectos son fundamentales para evaluar la usabilidad y eficiencia del dispositivo en el contexto de enseñanza y aprendizaje de sistema Braille. Una vez realizado el análisis los resultados obtenidos fueron:

Pregunta 1. Le parece que la forma de manejo del dispositivo es:

10 respuestas

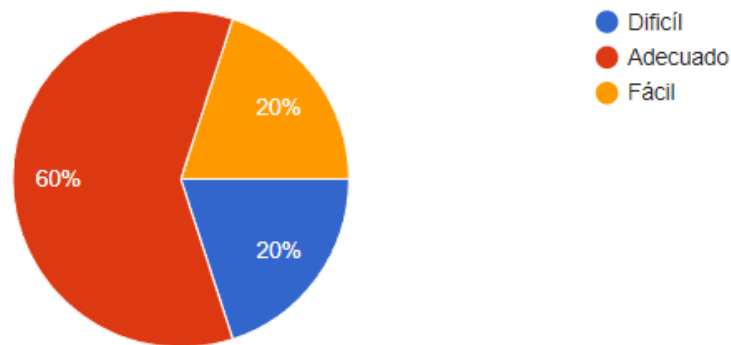


Figura 39 Análisis porcentual pregunta 1

En la Figura 4.25 se pueden observar que el 60% considera que la forma de manejo del dispositivo es adecuada, mientras que el 20% lo percibe como fácil y el otro 20% lo encuentra difícil. Este análisis sugiere que la mayoría de los encuestados están satisfechos con la forma en que el dispositivo se maneja, lo que indica una buena usabilidad en general. Sin embargo, es importante tener en cuenta las otras opiniones que encuentran el manejo del dispositivo como fácil o difícil, ya que ofrece información valiosa para mejorar el diseño y funcionalidad en aspectos futuros.

Pregunta 2. ¿Cuál es su opinión sobre el tamaño del dispositivo de aprendizaje?

10 respuestas

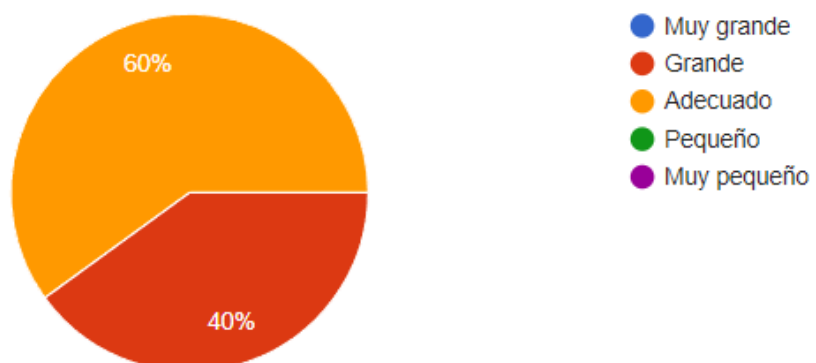


Figura 40 Análisis porcentual pregunta 2

La Figura 4.26 se observa que el 60% considera que el tamaño del dispositivo de aprendizaje es adecuado. Mientras que el 40% lo percibe como grande. No se registraron opiniones que lo califican como muy grande, pequeño o muy pequeño. Esto sugiere que la mayoría de encuestados se encuentran satisfechos con el tamaño del dispositivo, lo que indica una elección acertada en términos de diseño ergonómico, sin embargo, la percepción del tamaño como grande por parte de una minoría sugiere un aspecto a mejorar en futuras versiones del dispositivo.

Pregunta 3. ¿Cómo calificaría el tiempo de espera entre la presentación de cada letra en el dispositivo?

10 respuestas

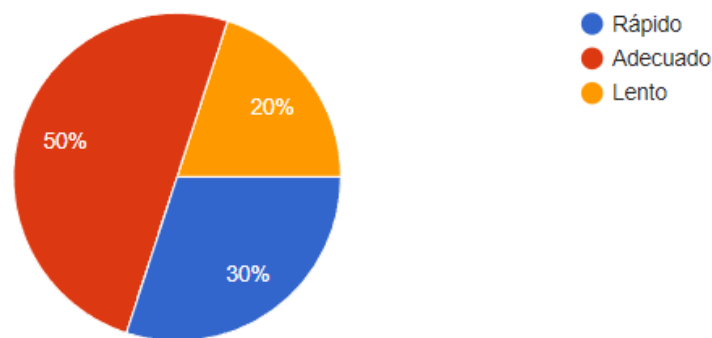


Figura 417 Análisis porcentual pregunta 3

En la Figura 4.27 se observan que el 50% de personas encuestadas califica el tiempo de espera entre la presentación de cada letra en el dispositivo como adecuado. Mientras que el 30% lo considera rápido y el 20% lo percibe como lento. Estas respuestas indican que la mayoría de las personas encuestadas se encuentran satisfechas el tiempo de presentación de las letras, lo que sugiere una configuración acertada en términos de fluidez en la experiencia de uso. Sin embargo, hay que tomar en cuenta el resto de las respuestas proporcionadas para realizar un ajuste a la velocidad para satisfacer las necesidades de más usuarios.

Pregunta 4. La posición de las letras en modo lectura es:

10 respuestas

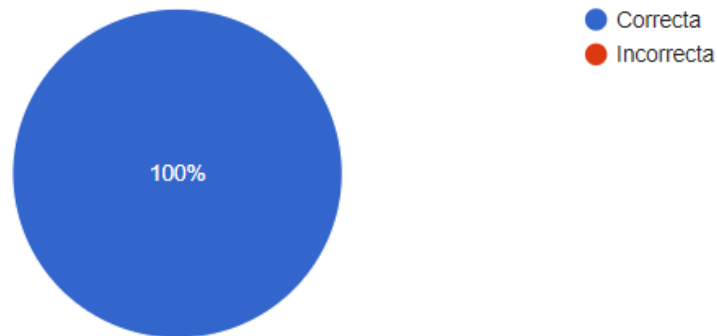


Figura 42 Análisis porcentual pregunta 4

La Figura 4.28 muestra el 100% considera que la posición de las letras o puntuaciones en modo lectura es correcta. Esto indica una percepción unánime entre los encuestados sobre la posición adecuada de las letras, lo que favorece y garantiza el proceso de enseñanza de las letras del alfabeto en modo de lectura. Este resultado sugiere que el diseño y ubicación han sido efectivos para cumplir con el propósito previsto de proporcionar una experiencia clara de enseñanza de lectura.

Pregunta 5. La posición de las letras en modo escritura es:

10 respuestas

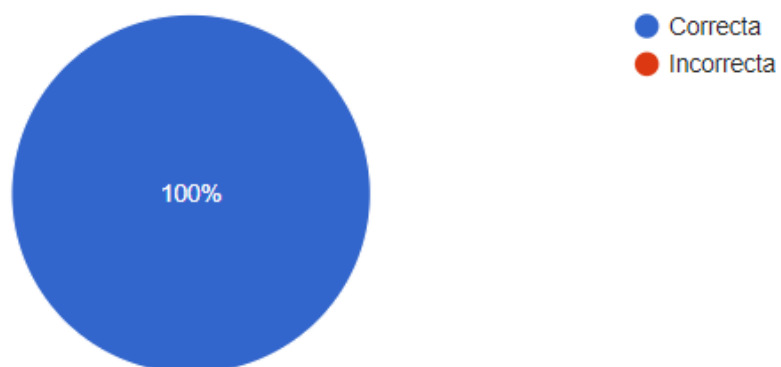


Figura 43.29 Análisis porcentual pregunta 5

En la Figura 4.29 se muestra que el 100% considera que la posición de las letras o puntuaciones en modo escritura es correcta, esto indica una percepción unánime entre los encuestados sobre la posición de las puntuaciones en este modo, lo cual asegura que se

desarrollará un correcto aprendizaje de las letras del abecedario en modo de escritura. Obteniendo como resultado el cumplimiento eficaz del propósito de enseñanza/aprendizaje.

Pregunta 6. ¿Qué opinión tiene sobre el relieve con el que las letras son presentadas en modo de lectura?

10 respuestas

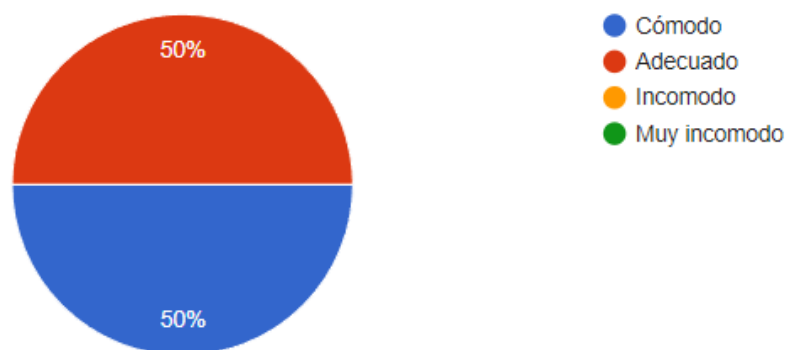


Figura 440 Análisis porcentual pregunta 6

La Figura 4.30 se observa que el 50% considera que el relieve con el que las letras son presentadas en modo de lectura es cómodo, mientras que el otro 50% lo califica como adecuado. No se registran opiniones que consideren el relieve como incomodo o muy incómodo. Esto sugiere que la mayoría de encuestados perciben el relieve de las letras satisfactorio, lo que indica que la posición del relieve ha sido exitosa para proporcionar un proceso de enseñanza agradable para los usuarios.

Pregunta 7. ¿Cuál es su percepción sobre el hundimiento del botón para modo de escritura?

10 respuestas

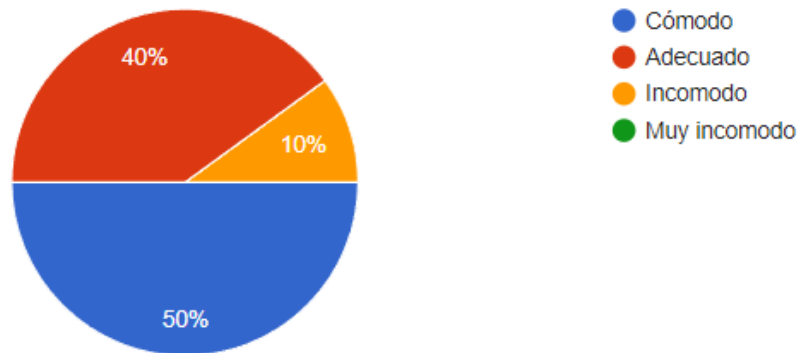


Figura 45.31 Análisis porcentual pregunta 7

En la Figura 4.31 se observan que el 50% considera que el hundimiento del botón para el modo de escritura es cómodo, mientras que el 40% lo percibe como adecuado. Solo el 10% lo encuentra incomodo y no se receptaron respuestas de que el hundimiento sea muy incómodo. Estos resultados indican que la mayoría de los encuestados se encuentran satisfechos con la experiencia que representa el hundimiento para el modo de escritura. Lo que no expresa que el diseño fue efectivo para proporcionar una experiencia táctil cómoda y funcional para el modo de escritura. Sin embargo, es importante tomar en cuenta las opiniones minoritarias para realizar ajustes futuros al diseño del dispositivo.

Pregunta 8. ¿Cuál es su opinión sobre el tamaño y forma de los bonotes del dispositivo?

10 respuestas

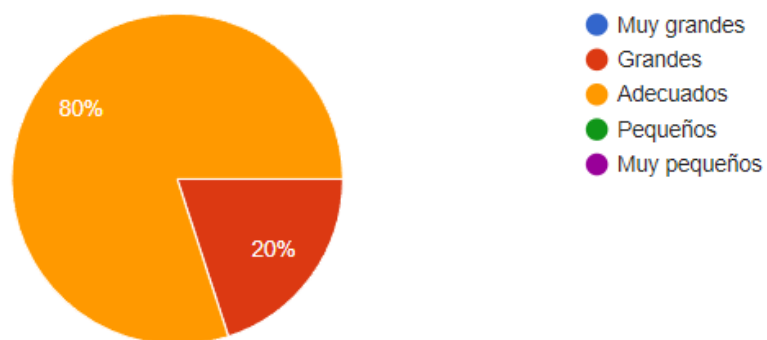


Figura 46 Análisis porcentual pregunta 8

La Figura 4.32 ilustra que el 80% considera que el tamaño y la forma de los botones del dispositivo son adecuados. Mientras que el 20% los percibe como grandes. No se registran respuestas que los califican como muy grandes, pequeños o muy pequeños. Esto indica que la mayoría de encuestados se encuentran satisfechos con el diseño de los botones del dispositivo, lo que sugiere que su elaboración ha sido exitosa y son fáciles de manipular o utilizar para la mayoría de los usuarios.

Pregunta 9. ¿Qué tan útil considera la retroalimentación por audio proporcionada por el dispositivo Braille?

10 respuestas

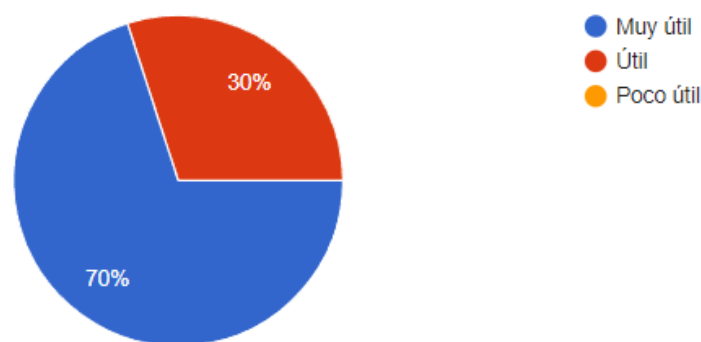


Figura 47 Análisis porcentual pregunta 9

En la Figura 4.33 se observa que el 70% de los encuestados considera que la retroalimentación por audio proporcionada por el dispositivo es muy útil, mientras que el 30% lo califica como útil. No se registran opiniones que lo consideraran como poco útil. Esto sugiere que la mayoría de los encuestados consideran positiva la retroalimentación y la definen como una característica beneficiosa para el proceso de enseñanza, lo que indica que esta función ha sido efectiva para mejorar la experiencia de uso y facilitar la interacción con el dispositivo.

Pregunta 10. ¿El volumen y la claridad del audio de retroalimentación son adecuados para usted?

10 respuestas

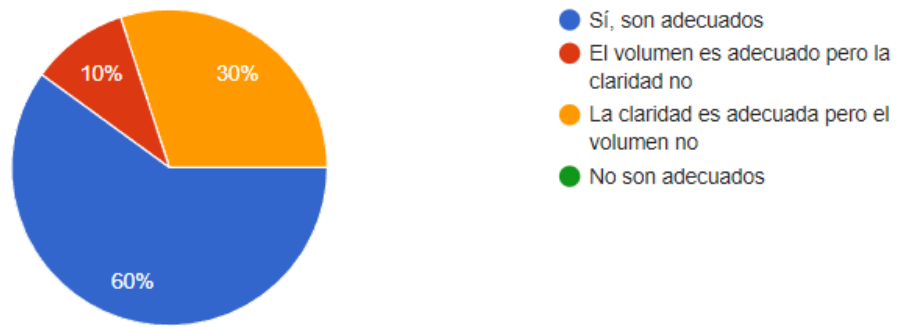


Figura 48.34 Análisis porcentual pregunta 10

La Figura 4.34 muestra que el 60% de los encuestados consideran que tanto el volumen como la claridad del audio de retroalimentación son adecuados. El 10% opina que el volumen es adecuado pero la claridad no, mientras que un 30% opina lo contrario, que la claridad es adecuada, pero el volumen no. No se registran opiniones en cuanto a que ni el volumen ni la claridad no son adecuados. Lo que sugiere este análisis de respuestas es que la mayoría de los encuestados se encuentran satisfechos tanto con la claridad como con el volumen, sin embargo, hay que tomar en cuenta con las opiniones de la minoría para tomar esto como sugerencias para mejoras en futuras versiones.

Pregunta 11. ¿Considera que es un dispositivo apto para el proceso de enseñanza del alfabeto en sistema Braille?

10 respuestas

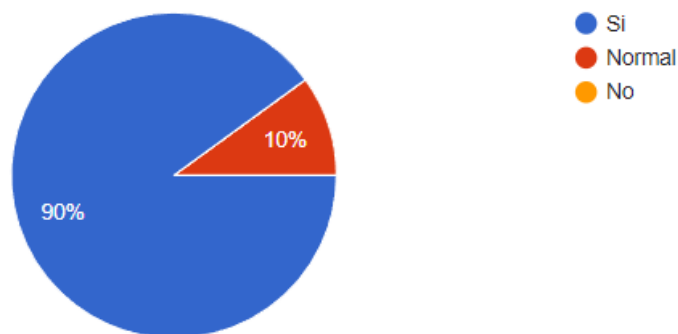


Figura 4.349 Análisis porcentual pregunta 11

En la Figura 4.35 se observa que el 90% de los encuestados considera que el dispositivo es apto para el proceso de aprendizaje del alfabeto en sistema Braille, mientras que el 10% registra opiniones que lo considera como normal. No se registran opiniones negativas, lo que sugiere que la mayoría de encuestados cuentan con una percepción positiva sobre el dispositivo para facilitar el aprendizaje del alfabeto en sistema Braille. Finalmente se puede concluir que el dispositivo ha cumplido en efecto con su propósito educativo y ha sido aceptado por la mayoría de encuestados como una herramienta útil para la enseñanza del sistema Braille.

Para determinar de forma general la aceptabilidad del dispositivo, se realizó un análisis que se ve reflejado en la Tabla 4.12 donde se toman los porcentajes de las respuestas positivas de cada pregunta teniendo como resultado un porcentaje de aceptabilidad del 91,36%. Lo que indica que el dispositivo es una herramienta idónea para el proceso de enseñanza del alfabeto Braille para los modos de lectura y escritura, validando el funcionamiento del sistema.

Tabla 4.12. Porcentaje de aceptabilidad de dispositivo Braille.

| Pregunta | Respuestas Positivas | Porcentaje de Respuestas Positivas |
|------------------------------------|----------------------|------------------------------------|
| 1 | Adecuado, Fácil | 80% |
| 2 | Adecuado, Grande | 100% |
| 3 | Adecuado | 75% |
| 4 | Correcta | 100% |
| 5 | Correcta | 100% |
| 6 | Cómodo, adecuado | 100% |
| 7 | Cómodo, adecuado | 90% |
| 8 | Adecuados | 80% |
| 9 | Muy Útil, útil | 100% |
| 10 | Adecuados | 80% |
| 11 | Si, Normal | 100% |
| Porcentaje de aceptabilidad | | 91,36% |

CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES

Conclusiones

En el presente trabajo de titulación se alcanzaron los objetivos definidos para el desarrollo del dispositivo. Esto implicó evaluar las necesidades de los usuarios con el propósito de abordar todas las posibles demandas que pudieran surgir. Además, se realizó una exhaustiva revisión bibliográfica tomando en cuenta las características del sistema Braille y sus métodos de enseñanza para el diseño mecatrónico e implementación de la interfaz. Por último, se ejecutó pruebas de funcionamiento y pruebas de campo para su validación.

La integración tecnológica en instrumentos educativos para personas con discapacidad visual ha logrado que el usuario tenga mejores medios de aprendizaje. Por ello se desarrolló un dispositivo mecatrónico el cual fue creado a base de mecanismos, componentes electrónicos y un sistema de control para mejorar destrezas y conocimientos en el ámbito educativo para personas no videntes, obteniendo como resultado un diseño mecatrónico 100% funcional con un tamaño adecuado y estructura ergonómica.

El desarrollo de la interfaz se fundamentó en las necesidades de diversos usuarios, buscando una representación táctil que sea perceptible en relieve para la lectura como en el vacío para la escritura. Además, se implementó retroalimentación auditiva para capacitar al usuario en el desarrollo sensorial del tacto y el oído, dos sentidos cruciales que debes estar plenamente desarrollados en personas con discapacidad visual. Se obtuvo como resultado un menú completo que garantiza la enseñanza autónoma del alfabeto en Braille para su escritura y lectura. Dentro de la interfaz se tienen tres menús aplicativos.

- Enseñanza: con el fin de instruir el alfabeto Braille para los modos de lectura y escritura.

- Evaluación: incorporado para evaluar el aprendizaje adquirido en la etapa de enseñanza, garantizando al usuario un dominio adecuado del contenido y contribuyendo a su desarrollo autónomo del alfabeto Braille con el uso del dispositivo.
- Diversión: es un menú de entretenimiento incluido para evitar jornadas de estudio monótonas y así poder motivar la enseñanza del alfabeto Braille.

Con la validación del dispositivo se comprobó que es una herramienta efectiva para la enseñanza del alfabeto Braille en modos lectura y escritura. Se determinó en las pruebas de campo que los tiempos de respuestas fueron ideales para el aprendizaje autónomo del usuario. Además, la inclusión de retroalimentación auditiva en el diseño hace que sea adecuado para usuarios de todas las edades y niveles de habilidad.

Recomendaciones

Como primer punto se recomienda la implementación de un regulador de voltaje para el correcto control y abastecimiento de energía de los componentes del circuito, además de aislar por completo los puntos de soldadura y conexiones para evitar perturbaciones que generen ruido, lo cual afecta principalmente al funcionamiento de los servomotores.

En cuanto elementos y componentes, es necesario el uso de cables flexibles y resistentes ya que estarán en constante movimiento y tienden a soltarse de los pulsadores, además de realizar una conexión GND (Tierra) común entre los pulsadores. También es importante el uso de una placa controladora de servos debido a que el Arduino no cuenta con la capacidad de abastecer varios servomotores a la vez.

Si el dispositivo está destinado para ser utilizado en la intemperie se recomienda la adaptación de baterías de litio y realizar los respectivos cálculos de consumo de energía. Por último, la creación de dos o más matrices con el fin de extender los conocimientos en alfabeto Braille ya que son necesarios para fundar cimientos en la vida académica de un niño, implementando símbolos y números.

REFERENCIAS

- [1] CONADIS, “Estadísticas de Discapacidad – Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades.” Accessed: May 05, 2023. [Online]. Available: <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-de-discapacidad/>
- [2] MTE, “Día mundial dedicado al sistema Braille - Salud Laboral y Discapacidad.” Accessed: May 05, 2023. [Online]. Available: <https://saludlaboralydiscapacidad.org/dia-mundial-dedicado-al-sistema-braille/>
- [3] ITE, “Educación Inclusiva. Personas con Discapacidad Visual. Módulo 5: El sistema Braille.” pp. 4–7, 2015, Accessed: Mar. 22, 2024. [Online]. Available: http://www.riate.org/version/v1/materiales_en_prueba/e_inclusiva_discapacidad/unidad_5/m5_estructura_sistema.htm
- [4] D. Orbes, “Juguete autónomo de aprendizaje braille,” jun. 2018, Accessed: Feb. 04, 2024. [Online]. Available: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8279>
- [5] A. Túquerres, “Dispositivo didáctico para la enseñanza del alfabeto del Sistema Braille,” Apr. 2023, Accessed: Feb. 04, 2024. [Online]. Available: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/14022>
- [6] J. Coyago, “Diseño de un dispositivo electrónico para el aprendizaje de la lectura y escritura del sistema Braille capaz de representar caracteres en símbolos generadores,” jul. 2021, Accessed: Feb. 04, 2024. [Online]. Available: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11298>
- [7] Y. Calderon, “Dispositivo electrónico para apoyar el aprendizaje inicial de lectura Braille,” *Journal Boliviano de Ciencias*, vol. 19, no. 54, pp. 61–76, Dec. 2023, doi: 10.52428/20758944.V19I54.990.

- [8] C. Avendaño, F. Villa, and O. Alvarado, “Diseño e implementación de un dispositivo electrónico interactivo para aprendizaje de Pre-Braille orientado a personas con discapacidad visual,” 2019, Accessed: Feb. 04, 2024. [Online]. Available: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/8920>
- [9] S. Altamirano and P. D. Villavicencio, “Dispositivo electrónico de aprendizaje alfabético traductor de voz a braille,” 2022, Accessed: Feb. 04, 2024. [Online]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/35565>
- [10] V. Da Rocha, D. Silva, A. Bisneto, F. Da Silva, and F. Da Fonseca, “Ensinando a Identificação de Caracteres Braille utilizando Dispositivos Móveis e um Display Braille,” *Revista Novas Tecnologias na Educação*, vol. 17, no. 3, pp. 82–91, Dec. 2019, doi: 10.22456/1679-1916.99429.
- [11] P. Valarezo, R. Pucha, and G. P. H. Crespo, “Desarrollo de un dispositivo electrónico para el aprendizaje del sistema Braille para niños no videntes de 3 a 5 años.,” *Ciencia Digital*, vol. 3, no. 4.1, pp. 39–50, nov. 2019, doi: 10.33262/cienciadigital.v3i4.1.978.
- [12] M. Hernandez, “VALIDACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA APOYAR EL APRENDIZAJE Y LA ENSEÑANZA DEL SISTEMA BRAILLE MARIA CAMILA HERNÁNDEZ OSPINA,” 2020.
- [13] M. E. Burbano Chiscueth, “Interfaz para enseñanza - aprendizaje del sistema braille en niños de 3 a 5 años,” Jan. 2020, Accessed: May 21, 2023. [Online]. Available: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10139>
- [14] Equipo editorial, “Braille.” Accessed: Jun. 20, 2023. [Online]. Available: <https://humanidades.com/braille/>

- [15] Fundacion Grisi, “¿Cómo funciona el sistema Braille? Fundación Grisi.” Accessed: Sep. 08, 2023. [Online]. Available: <https://www.fundaciongrisi.com/2020/01/14/elementor-1082/>
- [16] J. Ponce, “Centro de Investigación de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas”.
- [17] C. Franco, “El origen del Braille | The New York Public Library.” Accessed: Sep. 04, 2023. [Online]. Available: <https://www.nypl.org/blog/2021/01/04/el-origen-del-braille>
- [18] ONCE, “Día mundial dedicado al sistema Braille - Salud Laboral y Discapacidad.” Accessed: Sep. 10, 2023. [Online]. Available: <https://saludlaboralydiscapacidad.org/dia-mundial-dedicado-al-sistema-braille/>
- [19] Society6, “Amor en Braille Art Print by Explicit Design.” Accessed: Dec. 12, 2023. [Online]. Available: https://society6.com/product/amor-en-braille_print
- [20] ITE, “Educación Inclusiva. Personas con Discapacidad Visual. Módulo 5: El sistema Braille.” pp. 4–7, 2015, Accessed: nov. 17, 2023. [Online]. Available: http://www.riate.org/version/v1/materiales_en_prueba/e_inclusiva_discapacidad/unidad_5/m5_estructura_sistema.htm
- [21] Universidad Nacional de Cuyo, “Normas internacionales para la transcripción de libros” Accessed: May 08, 2024. [Online]. Available: <https://sid.uncu.edu.ar/sid/wp-content/uploads/2011/05/normas-para-transcripci%C3%B3n-en-braille.pdf>
- [22] C. B. Española, F. Javier, and M. Calvo, “Características de la rotulación para personas con discapacidad visual,” 2006.
- [23] Thintable, “Tablas braille - propiedades inherentes al Sistema Braille.” Accessed: May 08, 2024. [Online]. Available: <https://thinkable.nl/7-03-tablas-braille-propiedades-inherentes-braille/?lang=es>

- [24] Organizacion Riate, “Educación Inclusiva: Personas con discapacidad visual.” Accessed: Sep. 28, 2023. [Online]. Available: http://www.riate.org/version/v1/materiales_en_prueba/e_inclusiva_discapacidad/unidad_5/m5_metodo_ensenanza.htm
- [25] Don signo, “Sistema Braille – Donsigno.” Accessed: Sep. 13, 2023. [Online]. Available: <https://donsigno.com/sistema-braille/>
- [26] ONCE, “Braille en español, alfabeto, números, y sistema - Web ONCE,” 2018. Accessed: Sep. 14, 2023. [Online]. Available: <https://www.once.es/servicios-sociales/braille>
- [27] D. Labrador, “Alfabeto Braille: sistema de lectoescritura de ciegos.” Accessed: Sep. 13, 2023. [Online]. Available: <https://www.discapnet.es/innovacion/productos-apoyo/alfabeto-braille>
- [28] S. Vill, “1° Serie de ABCDario en Sistema Braille - YouTube.” Accessed: Sep. 14, 2023. [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=2SYfrGSbcmg&ab_channel=SofVill
- [29] S. Vill, “Serie 2 Sistema Braille - YouTube.” Accessed: Sep. 14, 2023. [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=vyWpUCFnm5Q&ab_channel=SofVill
- [30] S. Vill, “tercer serie del abecedario en sistema braille - YouTube.” Accessed: Sep. 14, 2023. [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=6ojiygJJwZ4&ab_channel=SofVill
- [31] M. Montes, “Braille Signo Generador | PDF.” Accessed: Sep. 17, 2023. [Online]. Available: <https://es.scribd.com/document/388185829/Braille-Signo-Generador#>
- [32] I. Martinez, “GUÍA DIDÁCTICA PARA LA LECTOESCRITURA BRAILLE,” 2004.

- [33] ONCE, “Buscador del catálogo comercial — CTI - Centro de Tiflotecnología e Innovación de la ONCE.” Accessed: Sep. 19, 2023. [Online]. Available: https://cti.once.es/catalogo-comercial/buscador-del-catalogo-comercial/view_item?prodcodid=029&prodcodanid=2021
- [34] TecMikro, “Nano para-Arduino®.” Accessed: Jan. 29, 2024. [Online]. Available: <https://tecmikro.com/tarjetas-programables/457-nano-para-arduino.html>
- [35] KobbyKing, “Poder 1810MG metal Gear HD sin núcleo Digital Servo 3,9 kg / 16g / .13sec.” Accessed: Sep. 21, 2023. [Online]. Available: https://hobbyking.com/es_es/power-hd-1810mg-metal-gear-coreless-digital-servo-3-9kg-13sec-16g.html?__store=es_es
- [36] Robotics & Electronics, “Power HD Mini Digital Servo HD-1810MG.” Accessed: Sep. 21, 2023. [Online]. Available: <https://www.pololu.com/product/1047>
- [37] NAYLAPM MECHATRONICS, “Tutorial Módulo Controlador de servos PCA9685 con Arduino.” Accessed: Sep. 21, 2023. [Online]. Available: https://naylampmechatronics.com/blog/41_tutorial-modulo-controlador-de-servos-pca9685-con-arduino.html
- [38] ELECTROSTORE, “MÓDULO CONTROLADOR DE SERVOMOTORES 16 CANALES I2C PCA9685 – Grupo Electrostore.” Accessed: Sep. 21, 2023. [Online]. Available: <https://grupoelectrostore.com/shop/modulos-y-shields/controladores-de-servomotores/modulo-controlador-de-servomotores-16-canales-i2c-pca9685/>
- [39] MEGATRONICA, “Pulsador Patas Largas de 2 Pines.” Accessed: Sep. 21, 2023. [Online]. Available: <https://megatronica.cc/producto/pulsador-patas-largas-de-2-pines/>

- [40] AMP ELECTRONICS, “MODULO MP3 – APM.” Accessed: Sep. 26, 2023. [Online]. Available: <https://apmelectronica.com/producto/mp3/>
- [41] F. Merachel, “Mini Alto-falante 3W 4 Ohms 50mm - AF50 - Usinainfo.” Accessed: Sep. 28, 2023. [Online]. Available: <https://www.usinainfo.com.br/mini-alto-falante/mini-alto-falante-3w-4-ohms-50mm-af50-5647.html>
- [42] MICROCHIPOTLE, “Sensor encoder rotativo, Pic C Compiler – MICROCHIPOTLE.” Accessed: Oct. 01, 2023. [Online]. Available: <https://microchipotle.com/sensor-encoder-rotativo-pic-c-compiler/>
- [43] AyJ Transmisiones, “Piñón cremallera: Todo lo que tiene que saber.” Accessed: Feb. 04, 2024. [Online]. Available: <https://www.ajtransmisiones.com/blog/funciones-del-pinon-cremallera>
- [44] S. Santacruz, “Dispositivo Semiautomático para el Proceso de Enseñanza Braille de Suma y Resta de un Dígito, para Niños con Discapacidad Visual” Universidad Mariana, Colombia, 2022.

ANEXOS

A. Código para calibrar Servomotores

```
void leerSerial () {
  if (Serial.available() > 0) {
    String entrada = Serial.readStringUntil('\n');

    Serial.print("Cadena recibida: ");
    Serial.println(entrada);

    int valor1 = 0;
    int valor2 = 0;

    #define SERVO_A 15
    #define SERVO_B 13
    #define SERVO_C 11
    #define SERVO_D 9
    #define SERVO_E 2
    #define SERVO_F 0

    #define SERVO_A_UP 10
    #define SERVO_A_ZERO 45
    #define SERVO_A_DOWN 80

    #define SERVO_B_UP 3
    #define SERVO_B_ZERO 32
    #define SERVO_B_DOWN 65

    #define SERVO_C_UP 30
    #define SERVO_C_ZERO 60
    #define SERVO_C_DOWN 95

    #define SERVO_D_UP 105
    #define SERVO_D_ZERO 73
    #define SERVO_D_DOWN 40

    #define SERVO_E_UP 100
    #define SERVO_E_ZERO 68
    #define SERVO_E_DOWN 35

    #define SERVO_F_UP 92
    #define SERVO_F_ZERO 60
    #define SERVO_F_DOWN 30
```

B. Código para definir audios

```
#ifndef AUDIO_H
#define AUDIO_H

/*PINES ENTRADA*/

#define LENGHT_PACKAGE 8
#define MP3_VOLUME 5 // Volumen de 0 a 30

/*Pistas de audio*/

#define INIT_DEVICE 1
#define SONIDO_A 52
#define SONIDO_B 53
#define SONIDO_C 54
#define SONIDO_D 55
#define SONIDO_E 56
#define SONIDO_F 57
#define SONIDO_G 58
#define SONIDO_H 59
#define SONIDO_I 60
#define SONIDO_J 61
#define SONIDO_K 62
#define SONIDO_L 63
#define SONIDO_M 64
#define SONIDO_N 65
#define SONIDO_O 66
#define SONIDO_P 67
#define SONIDO_Q 68
#define SONIDO_R 69
#define SONIDO_S 70
#define SONIDO_T 71
#define SONIDO_U 72
#define SONIDO_V 73
#define SONIDO_W 74
#define SONIDO_X 75
#define SONIDO_Y 76
#define SONIDO_Z 77

#define SONIDO_A_PUNTUACION 81
#define SONIDO_B_PUNTUACION 82
#define SONIDO_C_PUNTUACION 83
#define SONIDO_D_PUNTUACION 84
#define SONIDO_E_PUNTUACION 85
#define SONIDO_F_PUNTUACION 86
#define SONIDO_G_PUNTUACION 87
#define SONIDO_H_PUNTUACION 88
```



```

#define SONIDO_I_PUNTUACION 89
#define SONIDO_J_PUNTUACION 90
#define SONIDO_K_PUNTUACION 91
#define SONIDO_L_PUNTUACION 92
#define SONIDO_M_PUNTUACION 93
#define SONIDO_N_PUNTUACION 94
#define SONIDO_O_PUNTUACION 95
#define SONIDO_P_PUNTUACION 96
#define SONIDO_Q_PUNTUACION 97
#define SONIDO_R_PUNTUACION 98
#define SONIDO_S_PUNTUACION 99
#define SONIDO_T_PUNTUACION 100
#define SONIDO_U_PUNTUACION 101
#define SONIDO_V_PUNTUACION 102
#define SONIDO_W_PUNTUACION 103
#define SONIDO_X_PUNTUACION 104
#define SONIDO_Y_PUNTUACION 105
#define SONIDO_Z_PUNTUACION 106

#define SONIDO_MOD_LECTURA 28
#define SONIDO_MOD_ESCRITURA 29
#define SONIDO_REGRESANDO 30

#define SONIDO_PRIMERA_SERIE 31
#define SONIDO_SEGUNDA_SERIE 32
#define SONIDO_TERCERA_SERIE 33

#define SONIDO_DIVERSION 80
#define SONIDO_MUSICA 35
#define SONIDO_APRENDIZAJE 79
#define SONIDO_ENSEMANZA 78
#define SONIDO_EVALUACION_CONO 38
#define SONIDO_MENU_PRINCIPAL 41
#define SONIDO_MENU_SECUNDARIO 42
#define SONIDO_MENU_TERCARIO 43
#define SONIDO_REGRESAR 44
#define SONIDO_PRESIONA_CUAL_BOT 45
#define SONIDO_INTENTA_NUEVAMENTE 46
#define SONIDO_MUY_BIEN 47
#define SONIDO_ERROR 48
#define SONIDO_CORRECTO 49
#define SONIDO_INICIO_DISNEY 50
#define CANCION_DIVERSION 51

/*FUNCIONES DE CONTROL DE AUDIO*/
void sendDFCommand(byte Command, int ParData) {
    byte commandData[LENGHT_PACKAGE];
    byte q;

```

```

//Each command value is being sent in Hexadecimal
commandData[0] = 0x7E;           //Start of new command
commandData[1] = 0xFF;          //Version information
commandData[2] = 0x06;          //Data length (not including parity) or
the start and version
commandData[3] = Command;       //The command that was sent through
commandData[4] = 0x00;          //0 = no feedback
commandData[5] = highByte(ParData); //High byte of the data sent over
commandData[6] = lowByte(ParData); //low byte of the data sent over
commandData[7] = 0xEF;          //End bit

for (q = 0; q < LENGHT_PACKAGE; q++) {
    Serial.write(commandData[q]);
}
}

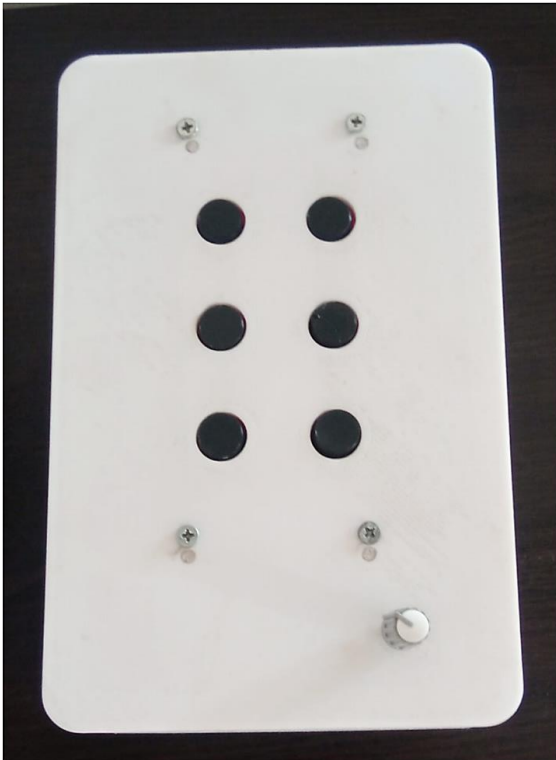
//play a specific track number
void PlayTrack(int tracknum) {
    sendDFCommand(0x03, tracknum);
}

//set volume to specific value
void ChangeVolume(int thevolume) {
    sendDFCommand(0x06, thevolume);
}

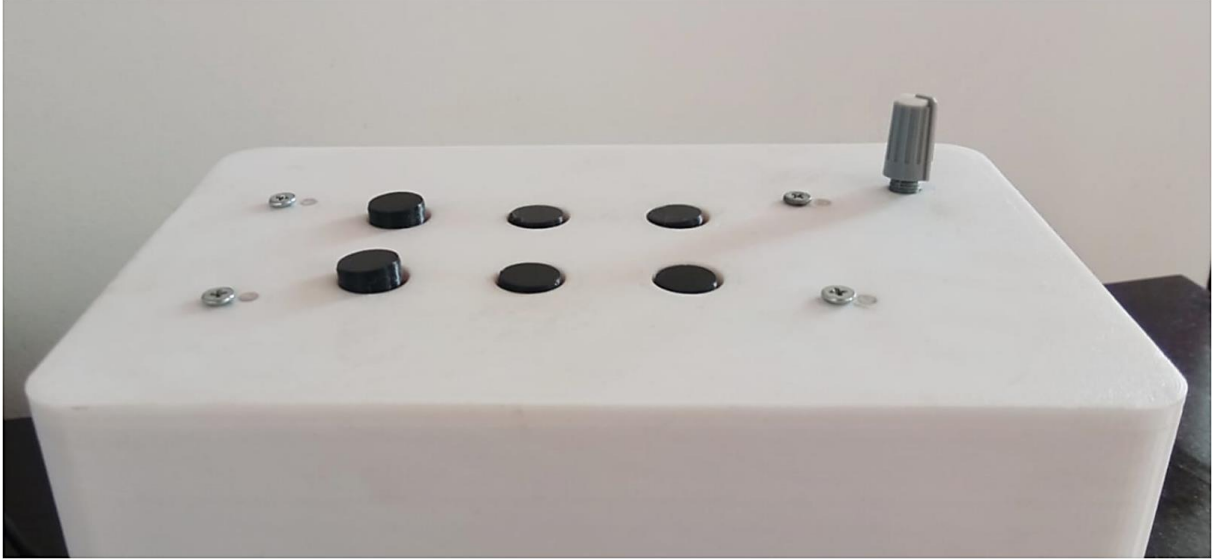
#endif // NOMBRE_LIBRERIA_H

```

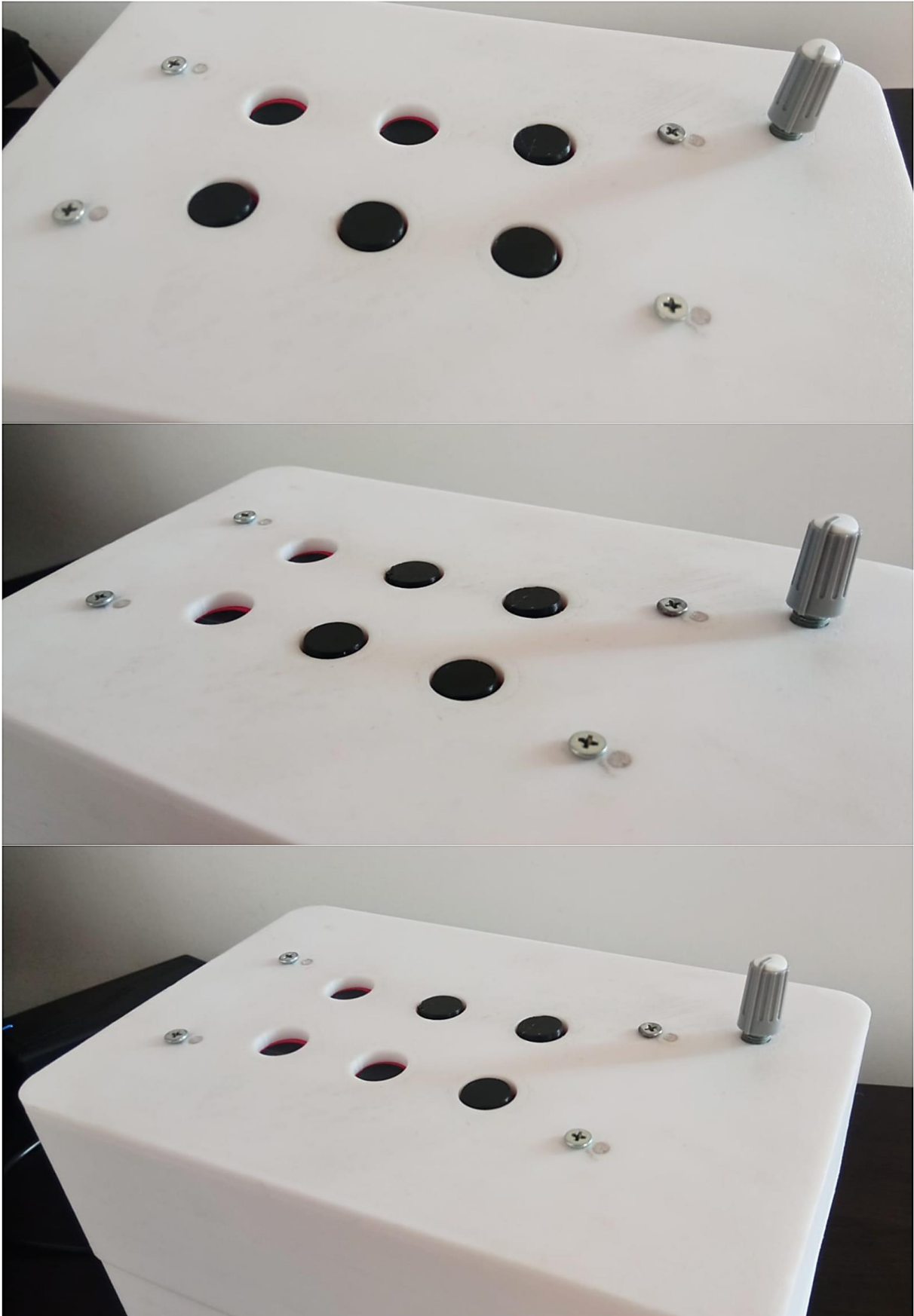
C. Dispositivo

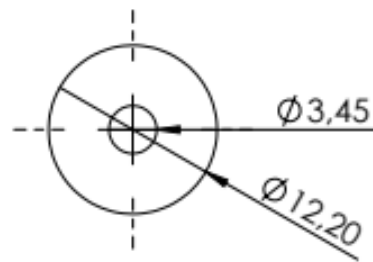
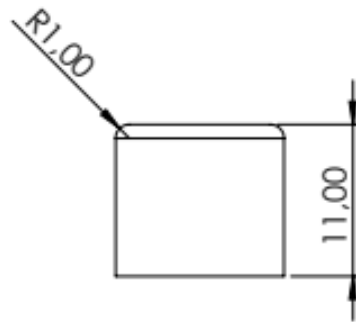


D. Dispositivo modo lectura



E. Dispositivo modo escritura

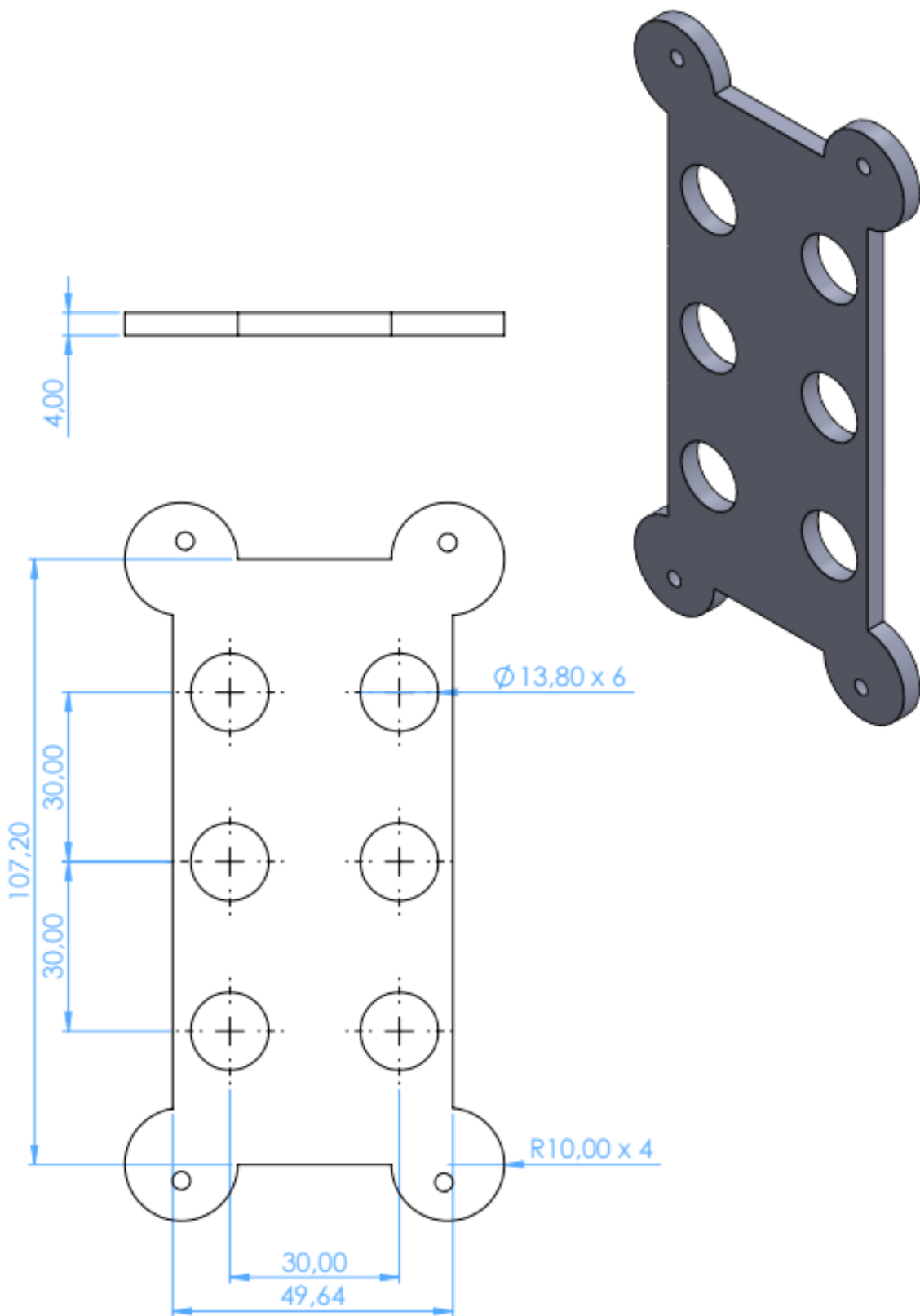




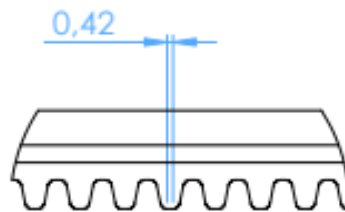
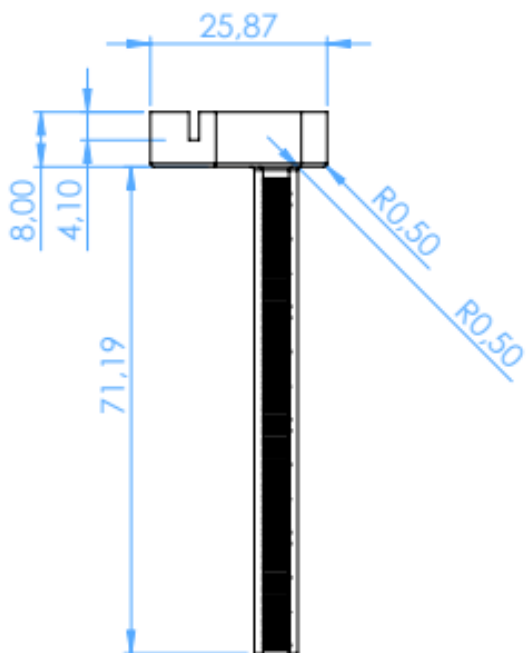
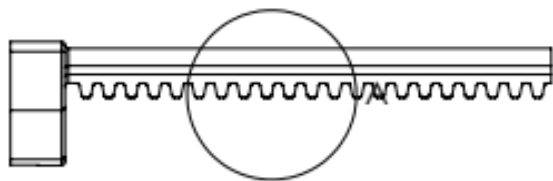
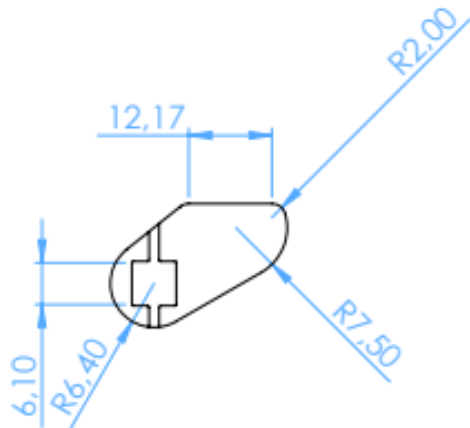
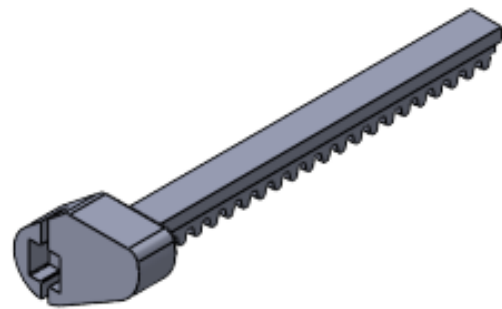
| | | | | | |
|---------------------------|---------|--------|----------|-----------------------|--------|
| PROYECTO:TAPON | | | | ESCALA | |
| PARTE: ESTRUCTURA INTERNA | | | | 2:1 | |
| CÓDIGO: | | | | TOLERANCIA: $\pm 0,1$ | |
| MATERIAL: | PETG | DISEÑO | ABBAD A. | 09/05/2024 | DIBUJO |
| TRATAMIENTO: | NINGUNO | DIBUJÓ | ABAD A. | 09/05/2024 | |
| RECUBRIMIENTO: | NINGUNO | REVISÓ | OJEDA D. | 09/05/2024 | |
| CANTIDAD: | 1 | APROBÓ | OJEDA D. | 09/05/2024 | |
| | | | | | |

FICA

CIME



| | | | | | | |
|----------------|---------------------------|---------|----------|------------|-----------------------|--------|
| | PROYECTO: TABLILLA | | | | ESCALA | |
| | PARTE: ESTRUCTURA INTERNA | | | | 1:1 | |
| | CÓDIGO: | | | | TOLERANCIA: $\pm 0,1$ | |
| | MATERIAL: | PETG | DISEÑÓ | ABAD A. | 09/05/2024 | DIBUJO |
| | TRATAMIENTO: | NINGUNO | DIBUJÓ | ABAD A. | 09/05/2024 | |
| RECUBRIMIENTO: | NINGUNO | REVISÓ | OJEDA D. | 09/05/2024 | | |
| CANTIDAD: | 1 | APROBÓ | OJEDA D. | 09/05/2024 | | |
| FICA | CIME | | | | | |



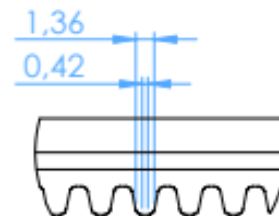
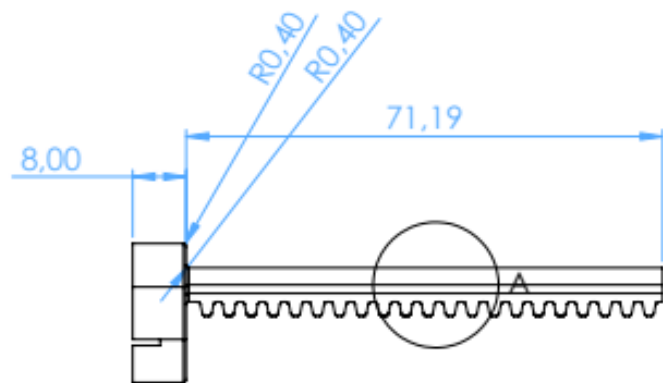
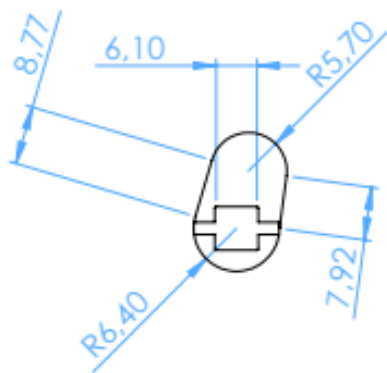
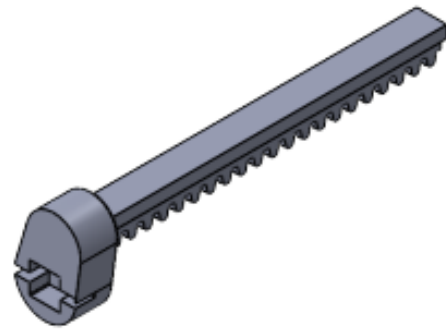
DETALLE A
ESCALA 2 : 1



| | | | | | |
|------------------------------------|---------|--------|----------|-------------------|--------|
| PROYECTO: ESTRUCTURA INTERNA | | | | ESCALA | |
| PARTE: CREMALLERA SUPERIOR DERECHA | | | | 1:1 | |
| CÓDIGO: | | | | TOLERANCIA: ± 0,1 | |
| MATERIAL: | PTGE | DISEÑÓ | ABAD A. | 09/05/2024 | DIBUJO |
| TRATAMIENTO: | NINGUNO | DIBUJÓ | ABAD A. | 09/05/2024 | |
| RECUBRIMIENTO: | NINGUNO | REVISÓ | OJEDA D. | 09/05/2024 | |
| CANTIDAD: | 1 | APROBÓ | OJEDA D. | 09/05/2024 | |

FICA

CIME



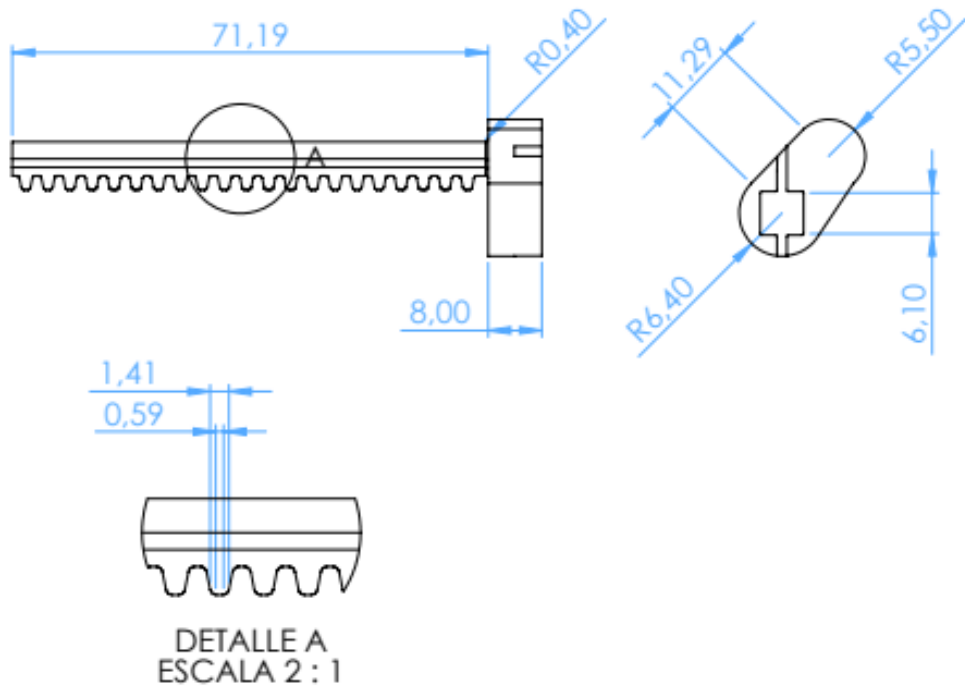
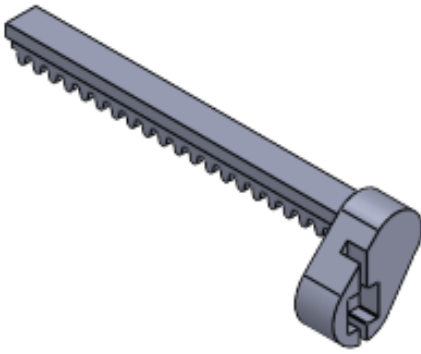
DETALLE A
ESCALA 2 : 1



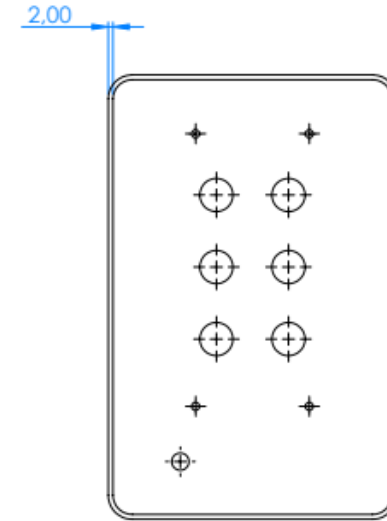
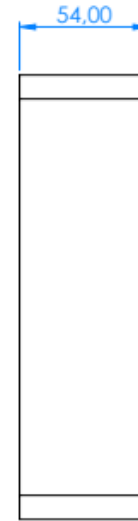
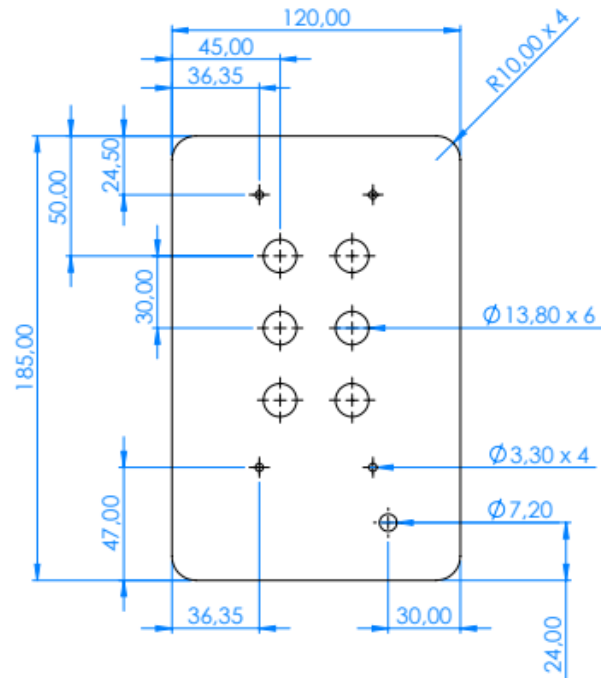
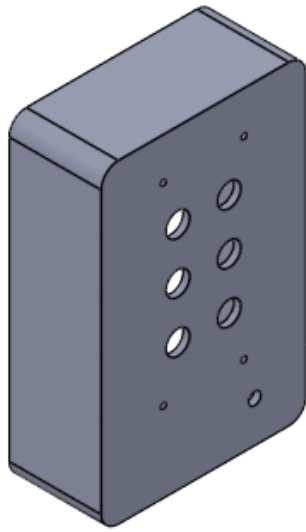
| | | | | | |
|------------------------------------|---------|--------|----------|-------------------|--------|
| PROYECTO: ESTRUCTURA INTERNA | | | | ESCALA | |
| PARTE: CREMALLERA INFERIOR DERECHA | | | | 1:1 | |
| CÓDIGO: | | | | TOLERANCIA: ± 0,1 | |
| MATERIAL: | PTGE | DISEÑO | ABAD A. | 09/05/2024 | DIBUJO |
| TRATAMIENTO: | NINGUNO | DIBUJÓ | ABAD A. | 09/05/2024 | |
| RECUBRIMIENTO: | NINGUNO | REVISÓ | OJEDA D. | 09/05/2024 | |
| CANTIDAD: | 1 | APROBÓ | OJEDA D. | 09/05/2024 | |
| | | | | | |

FICA

CIME



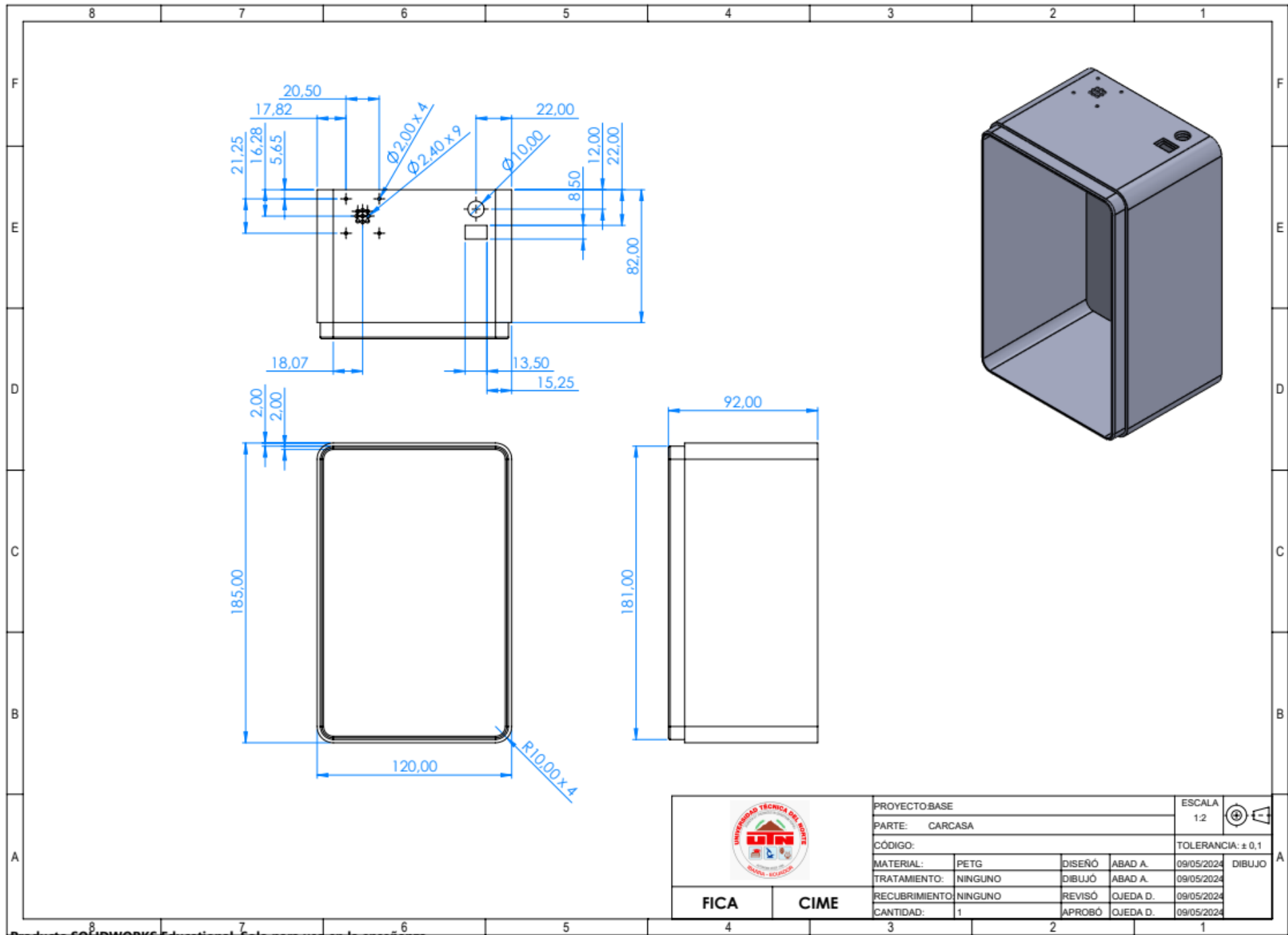
| | | | | | | |
|---------------|---------------------------------|---------|----------|------------|-------------------|--------|
| | PROYECTO: ESTRUCTURA INTERNA | | | | ESCALA | |
| | PARTE: CREMALLERA MEDIA DERECHA | | | | 1:1 | |
| | CÓDIGO: | | | | TOLERANCIA: ± 0,1 | |
| | MATERIAL: | PTEG | DISEÑO | ABAD A. | 09/05/2024 | DIBUJO |
| | TRATAMIENTO: | NINGUNO | DIBUJÓ | ABAD A. | 09/05/2024 | |
| RECUBRIMIENTO | NINGUNO | REVISÓ | OJEDA D. | 09/05/2024 | | |
| CANTIDAD: | 1 | APROBÓ | OJEDA D. | 09/05/2024 | | |
| FICA | CIME | | | | | |





| | | | | | | |
|-----------------------|---------|--------|----------|-------------------|-----|--|
| PROYECTO: TAPA | | | | ESCALA | 1:2 | |
| PARTE: CARCASA | | | | TOLERANCIA: ± 0,1 | | |
| CÓDIGO: DP-220130-1-2 | | | | DIBUJO | | |
| MATERIAL: | PETG | DISEÑO | ABAD A. | 09/05/2024 | | |
| TRATAMIENTO: | NINGUNO | DIBUJÓ | ABAD A. | 09/05/2024 | | |
| RECUBRIMIENTO: | NINGUNO | REVISÓ | OJEDA D. | 09/05/2024 | | |
| CANTIDAD: | 1 | APROBÓ | OJEDA D. | 09/05/2024 | | |

FICA

CIME



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

| | | | | | | |
|---|----------------|---------|----------|-----------------------|---|--------|
|  | PROYECTO BASE | | | ESCALA |  | |
| | PARTE: CARCASA | | | 1:2 | | |
| | CÓDIGO: | | | TOLERANCIA: $\pm 0,1$ | | |
| | MATERIAL: | PETG | DISEÑO | ABAD A. | | DIBUJO |
| | TRATAMIENTO: | NINGUNO | DIBUJÓ | ABAD A. | | |
| RECUBRIMIENTO | NINGUNO | REVISÓ | QJEDA D. | | | |
| CANTIDAD: | 1 | APROBÓ | QJEDA D. | | | |
| FICA | | CIME | | | | |