



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE BIOMEDICINA

KIT INFANTIL MULTISENSORIAL DE APRENDIZAJE PRE-BRAILLE

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

AUTORA: ANA CRISTINA LOZANO ACOSTA

TUTOR: ING. PAOLA CRISTINA INGAVÉLEZ GUERRA, PhD.

Cuenca – Ecuador

2025

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Ana Cristina Lozano Acosta con documento de identificación N° 0151975182 manifiesto que:

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

Ciudad, 22 de julio del 2025

Atentamente,



Ana Cristina Lozano Acosta
0151975182

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

Yo, Ana Cristina Lozano Acosta con documento de identificación N° 0151975182, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto Técnico: 'Kit Infantil Multisensorial de Aprendizaje Pre-Braille', el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Biomédica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Cuenca, 22 de julio del 2025

Atentamente,



Ana Cristina Lozano Acosta

0151975182

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Paola Cristina Ingavélez Guerra con documento de identificación N° 1712214616, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **KIT INFANTIL MULTISENSORIAL DE APRENDIZAJE PRE-BRAILLE**, realizado por Ana Cristina Lozano Acosta con documento de identificación N° 0151975182, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción **Proyecto Técnico** que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 22 de julio del 2025

Atentamente,



Ing. Paola Cristina Ingavélez Guerra, PhD.

1712214616

Dedicatoria

El presente proyecto de titulación está dedicado:

A mi madre, quien con su apoyo incondicional me han permitido llegar a cumplir otro de los objetivos trazados. Gracias por siempre ser mi pilar e inculcar en mí constancia, valentía y esfuerzo.

A mi hermana y a mi hermano, por su amor, su apoyo silencioso y por recordarme siempre de dónde vengo y hacia dónde voy.

También quiero dedicar este trabajo a Juan quien fue un gran apoyo en este proceso, por creer en mí incluso en los momentos en que yo dudaba, por su paciencia y aliento constante en este camino.

A mis compañeros Katty, Javier que estuvieron en el proceso y me brindaron su apoyo de una u otra forma siendo un soporte durante este proceso.

Y a mis fieles compañeras peludas: Mizha, Negra, Blanca, Penny, Fifi y la chica Fifi. Porque su amor incondicional, sus travesuras y su compañía silenciosa llenaron de ternura y consuelo mis días más difíciles.

A todos ustedes, gracias por caminar a mi lado. Esta meta también es suya.

Ana Cristina Lozano Acosta

Agradecimientos

Agradezco profundamente a mis padres que, gracias al cariño recibido, apoyo, paciencia y comprensión, ha sido posible lograr cada una de las metas que me he propuesto. En especial, a mi madre, por estar siempre dispuesta a acompañarme, guiarme y apoyarme en cada situación, y en cada larga jornada de estudio, en las que su compañía, consejos y abrazos eran para mí como un impulso para continuar hacia adelante y cumplir con los propósitos planteados.

A mi hermana y a mi hermano, por su constante apoyo, por ser parte de mis motivos para seguir adelante, y por estar presentes con su cariño en cada paso de este proceso.

A Juan, por ser mi compañero incondicional, por su comprensión, motivación y por cada palabra de aliento en los momentos difíciles. Su apoyo emocional ha sido fundamental para alcanzar esta meta.

A mis compañeros Katty y Javi, por su amistad sincera, su compromiso y por acompañarme en esta etapa con paciencia, humor y colaboración constante, y a mis compañeros que hice a lo largo del camino las cuales fueron un apoyo y aprendizaje en este camino.

A mis adoradas mascotas Mizha, Negra, Blanca, Penny, Fifi y la chica Fifi, quienes con su ternura, compañía silenciosa y amor incondicional, lograron alegrar mis días y aliviar el cansancio en momentos de agotamiento.

También quiero agradecer al Ing. Paola Ingavélez y a la Lcd. Marieliza Ordóñez que fueron un gran apoyo durante el proceso de tesis, y a mis profesores, quienes han estado prestos para solventar cualquier duda presentada y brindar sugerencias valiosas que enriquecieron este trabajo académico.

Finalmente, agradezco a todos quienes, de una u otra forma, han sido parte de este proceso. Este logro también es suyo.

Ana Cristina Lozano Acosta

Índice

Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación	I
Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la Universidad Politécnica Salesiana	II
Certificado de dirección del trabajo de titulación	III
Dedicatoria	IV
Agradecimientos	V
Resumen	XII
Abstract	XIII
1. Introducción	1
2. Problema	2
2.1. Antecedentes	2
2.1.1. Situación nacional: Ecuador	2
2.2. Importancia y alcances	5
2.3. Delimitación	6
2.3.1. Espacial o geográfica	6
2.3.2. Temporal	6
2.3.3. Sectorial o institucional	7
3. Objetivos	7
3.1. Objetivo General	7
3.2. Objetivos Específicos	7
4. Hipótesis	7
4.1. Hipótesis General	7
4.2. Hipótesis Específicas	8
5. Marco Teórico	8
5.1. El Sistema Braille: Estructura, Uso y Parámetros de Diseño	8

5.2.	Parámetros Estándar de Diseño Braille	8
5.3.	Fundamentos del Desarrollo Infantil y la Educación Especial	10
5.4.	Desarrollo de Habilidades Pre-Braille mediante Actividades y Técnicas Multi-sensoriales	10
5.5.	Diseño Inclusivo y Accesibilidad en el Aprendizaje Pre-Braille	11
5.6.	Normativas de Accesibilidad en el Diseño de Materiales Educativos	13
5.7.	Revisión de kits o recursos similares existentes	15
5.8.	Experiencia Local: Prototipo Experimental Inicial	19
6.	Marco metodológico	20
6.1.	Justificación pedagógica basada en el modelo de Kolb	20
7.	Desarrollo Técnico y Prototipado de los Recursos	22
7.1.	Primer Recurso Didáctico: Alfabeto 3D con Braille y NFC	22
7.1.1.	Hardware:	23
7.1.2.	Software:	25
7.2.	Segundo Recurso Didáctico: Prototipo electrónico de 6 puntos Braille	27
7.2.1.	Hardware:	27
7.2.2.	Software	33
7.2.3.	Dificultades técnicas durante el desarrollo	34
8.	Resultados	34
8.1.	Resultados Técnicos del Kit Multisensorial	35
8.1.1.	Alfabeto 3D con Braille y NFC	35
8.1.2.	Dispositivo electrónico de 6 puntos Braille	43
8.2.	Cumplimiento de normativas de accesibilidad y seguridad	44
8.3.	Evaluación Pedagógica según el Ciclo de Kolb	46
8.3.1.	Resultados por fase del ciclo de Kolb	49
8.4.	Evaluación de usuarios no videntes	53
8.4.1.	Evaluación SUS	53
8.4.2.	Evaluación QUEST	57
9.	Cronograma	60
10.	Presupuesto	61
10.1.	Materiales	61

10.2. Talento Humano 61

11. Conclusiones 62

12. Recomendaciones 62

13. Trabajo futuro 63

Referencias 67

ANEXOS 68

Lista de Tablas

1.	Estructura de Archivos y Repositorio	26
2.	Tabla de códigos binarios y letras en dos columnas	33
3.	Compatibilidad de la tarjeta NFC en algunos dispositivos móviles	36
4.	Contraste de colores y su accesibilidad	39
5.	Resultados de accesibilidad web con WAVE	40
6.	Resultados de accesibilidad web con TAW (WCAG 2.0 AA)	41
7.	Validación funcional del dispositivo: combinaciones Braille y archivos de audio	43
8.	Validación de combinaciones inválidas y respuesta del sistema	44
9.	Normativas aplicadas al Dispositivo 1: Alfabeto 3D con Braille y NFC	45
10.	Normativas aplicadas al Dispositivo 2: Prototipo electrónico de 6 puntos Braille	46
11.	Evaluación Pedagógica – Fase 1: Experiencia Concreta	49
12.	Evaluación Pedagógica – Fase 2: Observación Reflexiva	50
13.	Evaluación Pedagógica – Fase 3: Conceptualización Abstracta	51
14.	Evaluación Pedagógica – Fase 4: Experimentación Activa	52
15.	Valoración Global del Kit Multisensorial por Expertos	52
16.	Respuestas del cuestionario SUS por cada usuario	55
17.	Cálculo ajustado por ítem según el método SUS	56
18.	Resultados del Cuestionario QUEST 2.0 - Evaluación de Satisfacción	59
19.	Resultados de la evaluación QUEST por usuario	59
20.	Cronograma de actividades del proyecto	60
21.	Listado preliminar de componentes, cantidades y costos sujetos a modificación	61
22.	Detalle de costos de personal	61
23.	Matriz de consistencia	69
24.	Materiales y componentes utilizados en el Dispositivo 1: Abecedario 3D con Braille y Tarjetas NFC	70
25.	Materiales y componentes electrónicos del Dispositivo 2: Prototipo electrónico de 6 puntos Braille (Parte 1)	71
26.	Materiales y componentes complementarios del Dispositivo 2: Prototipo electrónico de 6 puntos Braille (Parte 2)	72

Lista de Figuras

1.	Estudios cuantitativos sobre la discapacidad-Ecuador	3
2.	Estudios cuantitativos sobre la discapacidad-Azuay	4
3.	Estudios cuantitativos sobre la discapacidad-Cuenca	5
4.	Parámetros Estándar	9
5.	Alfabeto A-Z Braille – PlanToys	15
6.	Orbit Reader 20	16
7.	Táctil Braille	16
8.	Mountbatten Braille	17
9.	SMART Braille de Perkins	17
10.	Bricks Braille LEGO®	18
11.	Primer prototipo	19
12.	Diagrama de bloques	22
13.	Resultados esperados	22
14.	Prototipo en Cartulina Canson	23
15.	Proceso de diseño, retroalimentación y prototipado del dispositivo.	24
16.	Escritura NFC	25
17.	Parte del código y visualización del primer recurso digital.	27
18.	Modelo Escala	28
19.	Pruebas de Protoboard	29
20.	Ruteo Final-Altium	30
21.	Cara inferior de la PCB	30
22.	Cara superior de la PCB	30
23.	Cara inferior de la PCB soldada	31
24.	Cara superior de la PCB soldada	31
25.	Proceso de desarrollo para la carcasa.	32
26.	Alfabeto Braille	35
27.	Comparación de herramientas para análisis de contraste y recurso digital	38
28.	Resultado Final - Página web	42
29.	Resultado WAVE	42
30.	Resultado TAW	42
31.	Evaluación Pedagógica	47
32.	Evaluación Pedagógica	48
33.	Evaluación SUS	54

34.	Medición de usabilidad	57
35.	Evaluación QUEST	58
36.	Códigos del sistema desarrollados	73
37.	Evaluación Pedagógica 1	74
38.	Evaluación Pedagógica 2	74
39.	Evaluaciones a usuarios	75
40.	Evaluaciones a usuarios	75
41.	Evaluaciones a usuarios	75

Resumen

El presente trabajo es el desarrollo de un kit infantil multisensorial, un conjunto de recursos didácticos destinados al aprendizaje pre-Braille para menores con deficiencia visual, con la finalidad de la facilitar la alfabetización inclusiva en sus primeros pasos de vida. Esta propuesta surge de una gran necesidad de recursos o materiales didácticos accesibles que estimulen adecuadamente a los usuarios permitiéndoles trabajar con sus sentidos complementarios, siendo fundamental para la población.

El proyecto está estructurado con el diseño, fabricación y validación de ambos recursos didácticos los cuales se complementan para cumplir el ciclo de aprendizaje correspondiente para el usuario, ambos recursos fueron desarrollados considerando las respectivas normativas de accesibilidad, seguridad infantil, recursos ergonómicos.

El enfoque meteorológico combina diferentes fundamentos en la educación como son las teorías del desarrollo infantil, el modelo de aprendizaje experimental Kolb. Las validaciones tanto pedagógica como de usuarios no videntes mostró resultados positivos en términos de funcionalidad, usabilidad, ergonomía y cumplimiento normativo. La propuesta representa una alternativa viable y accesible que contribuye a la inclusión educativa de menores con deficiencia visual.

Palabras clave:

Discapacidad visual, Aprendizaje pre-Braille, Educación inclusiva, Kit multisensorial, Tecnología asistiva, Desarrollo infantil

Abstract

This work is the development of a multisensory children’s kit, a set of educational resources designed for pre-Braille learning for visually impaired children, with the aim of facilitating inclusive literacy in their early life steps. This proposal arises from a great need for accessible teaching resources or materials that adequately stimulate users, allowing them to work with their complementary senses, which is fundamental for the population.

The project is structured with the design, manufacture, and validation of both educational resources, which complement each other to complete the corresponding learning cycle for the user. Both resources were developed considering the respective accessibility, child safety, and ergonomic resource regulations.

The meteorological approach combines different educational foundations, such as child development theories and the Kolb experiential learning model. Both pedagogical and user validations for the blind showed positive results in terms of functionality, usability, ergonomics, and regulatory compliance. The proposal represents a viable and accessible alternative that contributes to the educational inclusion of visually impaired minors.

Keywords:

Visual impairment, Pre-Braille learning, Inclusive education, Multisensory kit, Assistive technology, Child development

1. Introducción

La inclusión en menores con discapacidad visual en las escuelas presenta un desafío importante, especialmente en las primeras etapas del aprendizaje. Según la OMS (2020), “al menos 2.200 millones de personas en todo el mundo sufren algún tipo de discapacidad visual, de las cuales 1.000 millones de ellos sufren una enfermedad que podría haberse evitado o que aún no se ha tratado”. En este contexto, el Braille es una herramienta importante, siendo este fundamental para el desarrollo cognitivo y la independencia de los menores con deficiencia visual. Sin embargo, los métodos tradicionales para aprender Braille a menudo son limitados en condiciones de interactividad y accesibilidad, que complican la motivación y el rendimiento en el proceso de aprendizaje del estudiante.

Uno de los mayores desafíos en la enseñanza de menores con deficiencia visual es que existe una falta de materiales didácticos multisensoriales, que son esenciales para el aprendizaje, a través de sus sentidos compensatorios como el tacto y la audición. La teoría multisensorial ha demostrado ser crucial para la retención y comprensión de la información, especialmente en menores con deficiencia visual, Fan, Chong, y Li (2024).

Este enfoque promueve una educación experiencial, integradora y multisensorial, siendo este un método de aprendizaje más eficaz a través de la estimulación de diversas vías perceptivas Łuszczkiewicz (2024). En este contexto, el uso de estímulos táctiles y auditivos es fundamental para los niños. Para que las personas con discapacidad visual puedan acceder al conocimiento de forma significativa.

Este estudio se centra en el diseño, la implementación y la evaluación del kit multisensorial para niños con el objetivo de realizar una importante contribución al desarrollo para crear un entorno más accesible y equitativo en la educación inclusiva y proporcionar una herramienta didáctica que facilite la transición al braille. Este trabajo no sólo aborda una necesidad educativa crítica, sino que también demuestra cómo la integración de tecnologías avanzadas, como la impresión 3D y los sistemas electrónicos, puede cambiar la forma en que los niños con discapacidad visual acceden al aprendizaje. Este trabajo pretende contribuir al campo de la educación inclusiva proporcionando una solución tangible y accesible para mejorar la calidad de vida de los niños con discapacidad visual de. La UNESCO (2025) subraya que «la educación es un derecho humano fundamental que saca a hombres y mujeres de la pobreza, supera las desigualdades y garantiza el desarrollo sostenible».

2. Problema

2.1. Antecedentes

El desarrollo de un kit multisensorial de aprendizaje pre-braille para niños responde a la necesidad de superar las barreras educativas a las que se enfrentan los menores con deficiencia visual en sus primeros pasos hacia la lectoescritura. Según la OMS (2020), “se estima que más de mil millones de personas a nivel mundial presentan algún tipo de discapacidad visual”, muchas de las cuales podrían haberse prevenido o tratado. Dentro de esta población, los niños constituyen un grupo especialmente vulnerable, ya que la falta de acceso a herramientas educativas adaptadas impacta negativamente en su desarrollo cognitivo, social y emocional.

De acuerdo con la misma fuente, se estima que 312 millones de niños y adolescentes cuya edad es inferior a los 19 años presentan miopía, con prevalencias especialmente altas en Asia y el Pacífico (53,4%), Asia Oriental (51,6%) y hasta un 7% en adolescentes urbanos de Corea del Sur. Este fenómeno se proyecta al alza, estimando que los errores refractivos no corregidos aumentarán en 200 millones de casos entre 2000 y 2050. Complementando estos datos, The International Agency for the Prevention of Blindness (2024) reporta que 448 millones de niños y adolescentes presentan errores refractivos, de los cuales 90 millones viven con algún grado de pérdida visual.

Las causas más frecuentes incluyen errores refractivos no corregidos, cataratas congénitas, retinopatía del prematuro, anomalías oculares congénitas y alteraciones visuales de origen cerebral OMS (2020); The International Agency for the Prevention of Blindness (2024). Aunque la ceguera por deficiencia de vitamina A o sarampión ha disminuido, estos problemas persisten en contextos vulnerables.

2.1.1. Situación nacional: Ecuador

En Ecuador, las estadísticas nacionales reflejan una realidad preocupante. Según el INEC (2022), 1.099.435 personas declararon tener una limitación duradera en al menos un ámbito de funcionamiento, y de este total, el 21,8% enfrenta dificultades para ver, lo que representa aproximadamente 240.000 personas con discapacidad visual en el país. Estos datos evidencian la necesidad de generar estrategias efectivas para mejorar el acceso a la educación de esta población y reducir las brechas de exclusión.

Por su parte, los registros administrativos del CONADIS (2024) reportan que 56.644 personas se encuentran registradas oficialmente con discapacidad visual, de los cuales 954 son niños menores a los 12 años, distribuidos en 529 hombres y 425 mujeres. En cuanto al grado

de discapacidad: En cuanto al grado de discapacidad:

- 20.55% (196 menores de edad) tienen un grado de discapacidad de 30% a 49%.
- 16.67% (159 menores de edad) de 50% a 74%.
- 52.20% (498 menores de edad) de 75% a 84%.
- 10.59% (101 menores de edad)) de 85% a 100%.

Distribución por edades:

- 70 niños de 0 a 3 años.
- 90 niños de 4 a 5 años.
- 794 niños de 6 a 12 años.



Figura 1

Estudios cuantitativos sobre la discapacidad-Ecuador

Fuente: CONADIS (2024)

A nivel provincial, en Azuay se registran 61 menores de edad, los cuales son 41 hombres y 20 mujeres. En cuanto al grado de discapacidad:

- 8.20% (5 menores de edad) tienen un grado de discapacidad de 30% a 49%.
- 18.03% (11 menores de edad) de 50% a 74%.
- 60.66% (37 menores de edad) de 75% a 84%.
- 13.11% (8 menores de edad)) de 85% a 100%.

Distribución infantil:

- 5 niños de 0 a 3 años.
- 56 niños de 6 a 12 años.

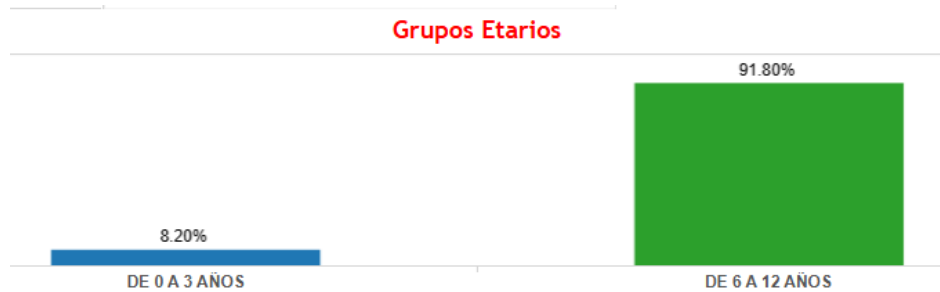


Figura 2

Estudios cuantitativos sobre la discapacidad-Azuay

Fuente: CONADIS (2024)

En el cantón Cuenca, se registran 49 menores de edad, de los cuales son 31 hombres y 18 mujeres. Por grado de discapacidad:

- 8.10% (4 personas) de 30% a 49%.
- 18.37% (9 personas) de 50% a 74%.
- 61.22% (30 personas) de 75% a 84%.
- 12.24% (6 personas) de 85% a 100%.

Distribución infantil:

- 4 niños de 0 a 3 años.
- 45 niños de 6 a 12 años.



Figura 3

Estudios cuantitativos sobre la discapacidad-Cuenca

Fuente: CONADIS (2024)

La comparación entre los datos del el INEC (2022) y del CONADIS (2024) evidencia una diferencia considerable entre las personas que se reconocen con dificultad visual y las que están formalmente registradas, lo que sugiere la existencia de una población subatendida y refuerza la urgencia de implementar recursos pedagógicos accesibles desde edades tempranas.

2.2. Importancia y alcances

La educación inclusiva es un pilar fundamental con el fin de asegurar condiciones equitativas en el acceso al conocimiento, especialmente para menores con deficiencia visual. La importancia de esta propuesta se basa en la necesidad de generar nuevas estrategias pedagógicas accesibles que respondan a las necesidades de esta población, alineadas de acuerdo con los principios consignados en la Organización de las Naciones Unidas (2006), la cual garantiza el derecho a acceder a materiales educativos adaptados.

El problema identificado no solo impacta al ámbito educativo, sino que también se relaciona con áreas como la tecnología y la rehabilitación. En el ámbito educativo, la falta de recursos accesibles reduce las posibilidades de aprendizaje equitativo para los niños con discapacidad visual, que a menudo se topan con obstáculos serios para acceder a materiales adecuados durante los primeros años de formación.

El propósito de esta investigación es concebir y construir una herramienta introductoria que complemente los enfoques de enseñanza ya presentes en las aulas inclusivas, priorizando el desarrollo de competencias previas al Braille. Si bien hay productos comerciales en el mercado, muchos de ellos son costosos y se centran en la enseñanza del Braille formal, en lugar de en las destrezas fundamentales que se requieren para su posterior asimilación. Por ejemplo, existen recursos exclusivamente táctiles, sin componentes electrónicos, que utilizan celdas de 6 u 8

puntos para representar letras, con precios que pueden oscilar entre \$17,99 y \$102,63 Feifeiya (2025); The LEGO Group (2024). En cambio, los recursos electrónicos más avanzados para la enseñanza del Braille pueden superar fácilmente los \$800, llegando incluso a los \$7000 Perkins Brailler (2025)

En este contexto, el alcance del presente estudio se centra en la investigación y desarrollo de estrategias pedagógicas para el aprendizaje pre-Braille en niños con discapacidad visual. Se propone el diseño de un sistema multisensorial de bajo costo que incorpore los seis puntos del sistema Braille para la enseñanza de letras de forma individual. Este sistema contará, además, con un mecanismo de retroalimentación auditiva para reforzar el proceso de aprendizaje y facilitar la evaluación formativa del progreso de los niños. La propuesta está dirigida no solo a beneficiar a los niños, sino también a brindar apoyo a educadores y familias en su labor educativa, fortaleciendo así la inclusión desde edades tempranas.

2.3. Delimitación

La delimitación del problema de estudio se realizará considerando las dimensiones que a continuación se describen.

2.3.1. Espacial o geográfica

El proyecto se desarrollará en la ciudad de Cuenca, Ecuador, con énfasis en el entorno académico y tecnológico de la Universidad Politécnica Salesiana (UPS), sede Cuenca, donde se utilizarán los recursos disponibles (laboratorios, equipos de impresión 3D y sistemas electrónicos). Aunque no se realizarán pruebas con niños, el diseño del kit estará basado en estándares pedagógicos y de accesibilidad validados por expertos.

2.3.2. Temporal

El estudio se ejecutará dentro de un rango de 240 horas de trabajo efectivo, distribuidas en las siguientes etapas:

- Revisión bibliográfica y estado del arte (60 horas).
- Diseño y fabricación del prototipo (120 horas).
- Evaluación comparativa (60 horas), comparando el prototipo con normativas y metodologías existentes.

Dado que no se contempla pruebas con usuarios finales (niños), la validación se limitará a análisis documentales y consultas con expertos en educación inclusiva o discapacidad visual, en caso de ser posible dentro del tiempo asignado.

2.3.3. Sectorial o institucional

El proyecto se circunscribe al ámbito académico-investigativo, específicamente al área de Ingeniería Biomédica de la UPS Cuenca, sin involucrar instituciones externas debido a restricciones de tiempo y alcance.

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

- Diseñar y desarrollar un kit infantil multisensorial para el aprendizaje pre-Braille

3.2. Objetivos Específicos

- Investigar el estado del arte sobre el aprendizaje pre-Braille y metodologías multisensoriales, identificando estrategias efectivas para la enseñanza de niños con discapacidad visual.
- Diseñar y desarrollar un prototipo de kit multisensorial, integrando el uso de elementos táctiles y auditivos.
- Evaluar el prototipo del kit multisensorial mediante un análisis comparativo con normativas y estándares pedagógicos, ergonómicos y de inclusión.

4. Hipótesis

4.1. Hipótesis General

- El diseño y desarrollo de un kit infantil multisensorial para el aprendizaje pre-Braille mejorará la adquisición de habilidades pre-Braille en niños con discapacidad visual, promoviendo una enseñanza más inclusiva y efectiva.

4.2. Hipótesis Específicas

- La investigación sobre el estado del arte del aprendizaje pre-Braille y las metodologías multisensoriales permitirá identificar estrategias efectivas para la enseñanza de niños con discapacidad visual, optimizando el proceso de aprendizaje.
- El diseño y desarrollo de un prototipo de kit multisensorial, que integra elementos táctiles y auditivos, facilitará el aprendizaje de las habilidades pre-Braille en niños con discapacidad visual.
- La evaluación del prototipo del kit multisensorial mediante un análisis comparativo con normativas y estándares pedagógicos, ergonómicos y de inclusión demostrará su efectividad y adecuación para el aprendizaje de niños con discapacidad visual.

5. Marco Teórico

5.1. El Sistema Braille: Estructura, Uso y Parámetros de Diseño

El Braille es una forma alternativa de comunicación escrita y leída, basada en el tacto diseñado para personas ciegas, fundamentado en una celda conformada por una disposición de seis puntos dispuestos en dos columnas verticales de tres filas cada una. Cada punto puede estar en relieve o no, generando hasta 64 combinaciones posibles que permiten expresar caracteres alfabéticos, numéricos y signos de puntuación junto con palabras completas Everyday Sight (2019); Garza (2020). Este sistema se ha adoptado internacionalmente, facilitando la oportunidad de acceder a la información y la educación para personas con deficiencia visual.

Para escribir en Braille se utilizan herramientas específicas como la máquina Perkins Brailleur y el borrador Braille, mientras que la lectura se efectúa mediante el desplazamiento táctil de las puntas de los dedos, principalmente los índices, de izquierda a derecha Garza (2020). Este proceso requiere habilidades como la discriminación táctil fina, conciencia espacial y coordinación motora, las cuales deben ser estimuladas desde etapas pre-Braille mediante actividades sensoriales específicas.

5.2. Parámetros Estándar de Diseño Braille

Según Comisión Braille Española (2024) las dimensiones técnicas para una correcta lectura táctil del Braille son fundamentales. Los parámetros principales recomendados incluyen:

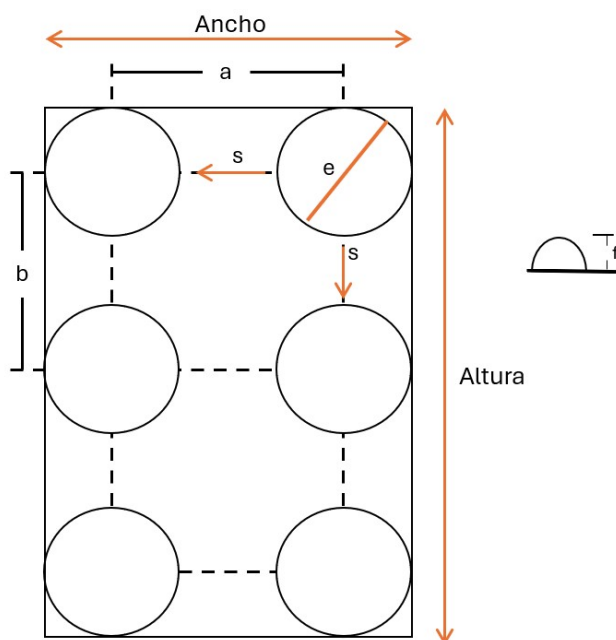


Figura 4

Parámetros Estándar

Fuente: Autor.

- a = dentro de una misma celda, los centros de los puntos contiguos se encuentran separados horizontalmente por 2,5 mm.
- b = la medida correspondiente a la separación en altura entre los puntos centrales en una celda es de 2,5 mm.
- e = El diámetro en la base de cada punto es de 1,5 mm.
- f = Se recomienda que los puntos presenten una altura comprendida entre 0,2 mm y 0,5 mm.
- s = Equivale a dos tercios del diámetro del punto (e), es decir, 1 mm. .
- $\text{Altura} = \text{Representado por } (e \times 3) + (s \times 2) : 6,5 \text{ mm}$
- $\text{Ancho} = \text{Representado por } (e \times 2) + s : 4 \text{ mm}$

Estos valores buscan adaptarse a la capacidad táctil de las puntas de los dedos. y asegurar la legibilidad mediante el tacto, especialmente en materiales impresos o recursos braille estándar.

5.3. Fundamentos del Desarrollo Infantil y la Educación Especial

El desarrollo infantil constituye una dinámica compleja en la que intervienen factores cognitivos, motores y sensoriales. Según Piaget (2014) , durante el período preoperacional del desarrollo cognitivo, que se extiende desde los 2 hasta los 7 años, los menores de edad construyen activamente su conocimiento mediante la interacción con el entorno físico y social. Esta etapa se caracteriza por el pensamiento simbólico, el egocentrismo cognitivo y el uso de representaciones mentales, en un contexto donde la experiencia concreta y sensorial es esencial para el aprendizaje temprano. Este enfoque resulta especialmente relevante para menores con deficiencia visual, quienes se apoyan en los sentidos restantes para comprender su entorno.

Vygotsky (1978) planteó que el desarrollo cognitivo infantil es un proceso socialmente mediado, en el cual el acompañamiento de individuos con mayor nivel de competencia promueve el avance del niño en su Zona de Desarrollo Próximo (ZDP). Según el autor, las herramientas culturales y los sistemas simbólicos (como el lenguaje y otras formas de representación) son fundamentales para la adquisición del conocimiento. Aunque Vygotsky no abordó de manera específica en la discapacidad visual, su teoría Ofrece una base firme que sustenta el uso de recursos adaptados que funcionen como mediadores del aprendizaje en contextos educativos inclusivos.

En este sentido, los recursos didácticos adaptados, como un kit pre-Braille, los cuales facilitan el aprendizaje autónomo y la inclusión educativa para menores con deficiencia visual,

5.4. Desarrollo de Habilidades Pre-Braille mediante Actividades y Técnicas Multisensoriales

El aprendizaje pre-Braille es una fase fundamental en la formación académica de menores con deficiencia visual, dado que proporciona la base para el desarrollo de del sistema Braille. Dado que el acceso visual está limitado, las metodologías multisensoriales que integran tacto, oído y movimiento son esenciales para facilitar la percepción y comprensión de conceptos. En esta etapa, se requiere desarrollar no solo habilidades motrices finas, sino también capacidades de discriminación táctil, coordinación bimanual, lateralidad, direccionalidad, orientación espacial y memoria secuencial.

De acuerdo con la Nevada Blind Children’s Foundation (2023), actividades como la diferenciación de texturas, tamaños y formas permiten a los niños “visualizar” el mundo con sus manos, identificando características como rugosidad, suavidad y contornos. Estas experiencias fortalecen la percepción sensorial, la conciencia espacial y las habilidades motrices.

Entre las técnicas clave se encuentra el desarrollo de habilidades de motricidad finas a través de actividades como manipular plastilina, ensartar cuentas o clasificar objetos por características táctiles, lo cual promueve la precisión de los dedos, habilidad esencial para la lectura y escritura en Braille The Poona School and Home for the Blind (2024).

Asimismo, el entrenamiento en rastreo mediante el movimiento del dedo índice de izquierda a derecha siguiendo líneas táctiles simula el recorrido sobre celdas Braille, facilitando la familiarización con su disposición y estructura Nevada Blind Children’s Foundation (2023). Hilditch (2021) complementa esta visión al proponer el uso de materiales cotidianos como broches, cremalleras, velcro o botones como recursos para fortalecer la exploración táctil, la coordinación y la manipulación intencional. Este enfoque permite además transferir habilidades a la vida cotidiana del niño.

El proceso de enseñanza pre-Braille, conocido como “apresto táctil”, incluye actividades específicas para ejercitar la discriminación de formas y la percepción de diferencias, la secuenciación y la comparación, preparando al niño para el reconocimiento de configuraciones de puntos en el cajetín Braille El Código Braille (2025). En una etapa inicial, se puede utilizar un macro-cajetín para presentar configuraciones táctiles ampliadas, sin necesidad de que el niño reconozca las letras aún. Luego, con tablillas, tarjetas con letras en Braille y ejercicios de lectura en tamaño estándar, se facilita la transición hacia el reconocimiento formal del alfabeto.

Aunque no existe un único método para enseñar las letras Braille, se recomienda seguir ciertos principios metodológicos: comenzar con las vocales, postergar la introducción de la letra “i”, evitar enseñar letras espacial o acústicamente similares en secuencia, y dejar el uso de mayúsculas para etapas más avanzadas El Código Braille (2025). Estas pautas permiten una progresión estructurada, evitando confusión y sobrecarga cognitiva.

Por último, los enfoques multisensoriales favorecen no solo habilidades específicas como la percepción táctil y espacial, sino también la integración social y educativa en entornos inclusivos, al diversificar los estímulos y formas de participación Praveen (2021). Entornos lúdicos y naturales también pueden potenciar el aprendizaje sensorial. Actividades al aire libre y de juego exploratorio, como las desarrolladas en el modelo de “escuela del bosque”, promueven una experiencia significativa y motivadora Hilditch (2021).

5.5. Diseño Inclusivo y Accesibilidad en el Aprendizaje Pre-Braille

El diseño inclusivo en aulas y en todo el entorno educativo busca crear espacios y materiales que valoren y atiendan la variedad de capacidades y maneras de aprender que cada niño y niña

trae consigo. Cuando hablamos de aprendizaje pre-Braille, este enfoque se vuelve fundamental para que los y las estudiantes con discapacidad visual vivan experiencias educativas tempranas que sean verdaderamente significativas y equitativas. La inclusión, entonces, no se limita a que todos los cuerpos estén en el mismo lugar; implica que cada niño y niña participe de forma activa, autónoma y efectiva, con las herramientas y el apoyo que necesita, desde los primeros años de su camino escolar.

El modelo pedagógico del Diseño Universal para el Aprendizaje, desarrollado por CAST, brinda un marco efectivo para concebir la educación desde la inclusión. Sus Directrices orientan la elaboración de materiales que ofrezcan diversas modalidades de representación, expresión y compromiso, de manera que todos los alumnos, incluidas las personas con discapacidad visual, puedan acceder y participar de modo significativo en el proceso de aprendizaje CAST (2024). Al trasladar estos principios al contexto pre-Braille, se trata de proporcionar estímulos que sean plenamente accesibles, combinando elementos táctiles, auditivos y kinestésicos, de forma que el estudiante pueda explorar y relacionarse con los contenidos a través de una experiencia multisensorial integrada.

Al diseñar materiales de aprendizaje accesibles para la era anterior al Braille, deben tenerse en cuenta principios ergonómicos y sensoriales, como la inclusión de texturas diferenciadas, formas tridimensionales, relieves distintos y tamaños que se correspondan con el desarrollo motor de los niños. La Nevada Blind Children's Foundation (2023) destaca la importancia de las actividades que permiten a los alumnos reconocer características táctiles como la textura, el tamaño o la forma, lo que requiere que los materiales se diseñen cuidadosamente desde el principio y no se adapten simplemente a posteriori. Esta accesibilidad táctil también refuerza habilidades que son esenciales para el desarrollo pre-Braille, como la discriminación sensorial, el seguimiento y la coordinación fina.

La dimensión emocional y motivacional del aprendizaje también forma parte del diseño inclusivo. Las directrices del SAD recomiendan crear entornos que fomenten la afiliación, la curiosidad y la exploración lúdica CAST (2024). Praveen (2021) subraya que los métodos multisensoriales que fomentan el juego, el descubrimiento activo y la retroalimentación positiva no solo refuerzan las habilidades cognitivas, sino que también aumentan la motivación intrínseca de los alumnos, que es clave para un proceso de aprendizaje sostenible.

Finalmente, el diseño inclusivo exige una visión centrada en el estudiante, donde los materiales y entornos educativos se ajusten a las formas en que los estudiantes aprenden, y no al revés. Como afirma The Poona School and Home for the Blind (2024), el diseño de recursos táctiles y auditivos debe promover no solo la funcionalidad, sino también el disfrute y la participación activa, generando un entorno seguro y estimulante. Este enfoque anticipa las

necesidades del alumnado y elimina barreras desde el inicio del proceso educativo, asegurando que todos los niños tengan oportunidades reales de aprender y desarrollarse plenamente.

5.6. Normativas de Accesibilidad en el Diseño de Materiales Educativos

El diseño de materiales educativos accesibles para niños con discapacidad visual, como el set de aprendizaje multisensorial pre-Braille para niños, debe regirse por un conjunto de normas nacionales e internacionales que garanticen tanto la seguridad del usuario como la usabilidad inclusiva del producto

- **La norma ISO 9999:2022** proporciona una clasificación y terminología de los dispositivos de asistencia para optimizar el funcionamiento de las personas con discapacidad, incluidos los productos utilizados en contextos educativos con o sin asistencia de terceros. Organización Internacional de International Organization for Standardization (2022). Esta norma es especialmente relevante para los equipos multisensoriales, ya que sirve de herramienta a para apoyar el aprendizaje adaptado.
- **La NTE INEN (2016) ISO 8124-1:2016** se centra en los aspectos mecánicos y físicos y regula las dimensiones, formas, bordes, bordes, estabilidad y huecos que podrían suponer un riesgo para los niños pequeños. Esto se aplica al diseño impreso en 3D del kit, ya que garantiza que las piezas sean seguras al tacto y no tengan bordes peligrosos ni piezas desmontables que puedan suponer un riesgo de asfixia.
- **La NTE INEN (2016) ISO 8124-2** se ocupa de la inflamabilidad del juguete, un aspecto importante ya que el kit contiene componentes electrónicos que pueden generar calor durante su funcionamiento. Esta norma garantiza que los materiales utilizados en la producción no sean fácilmente inflamables.
- **La NTE INEN (2016) ISO 8124-3** regula la migración de ciertos elementos químicos, estableciendo límites seguros para metales pesados en productos destinados a niños. Esto garantiza que los materiales del kit (filamentos 3D, etc.) no representen riesgos tóxicos al contacto prolongado, especialmente considerando que los usuarios son niños pequeños con discapacidad visual que interactúan de forma táctil.
- **World Wide Web Consortium (W3C) (2024)** es un estándar internacional que establece recomendaciones técnicas para garantizar la accesibilidad de contenidos digitales a personas con discapacidad. Se fundamentan en cuatro principios esenciales: Perceptible,

Operable, Comprensible y Robusto, los cuales aseguran que los productos diseñados puedan ser utilizados de forma equitativa por personas con diversas discapacidades.

- **ISO/IEC 30071-1:2019 (2019)** proporciona una guía integral para incorporar la accesibilidad en los sistemas de tecnologías de la información y la comunicación (TIC), tanto a nivel organizativo como técnico. Su enfoque holístico contempla el diseño, adquisición, desarrollo, implementación y mantenimiento de productos y servicios TIC accesibles. La norma establece recomendaciones clave como la elaboración de políticas institucionales de accesibilidad, la documentación de decisiones de diseño relacionadas con la inclusión y la comunicación efectiva a los usuarios mediante declaraciones de accesibilidad.
- **IEC 62368-1:2023 (2023)** aplica a equipos electrónicos de tecnología de audio, vídeo, información y comunicación. Establece principios para identificar y mitigar riesgos asociados con fuentes de energía peligrosas, con el objetivo de prevenir lesiones personales y daños materiales. El cumplimiento de esta norma permite minimizar riesgos físicos derivados del uso del dispositivo, como descargas eléctricas, calor excesivo o componentes inseguros.
- **UNE-EN 301549:2022 (2022)** esta norma española, basada en el estándar europeo EN 301549 v3.2.1 y en las directrices WCAG 2.1, establece requisitos de accesibilidad para productos y servicios TIC, especialmente en el sector público. Aunque se centra en sitios web y aplicaciones móviles, sus principios también son aplicables a interfaces digitales educativas. La norma especifica criterios de accesibilidad como el contraste de colores, uso de etiquetas claras, compatibilidad con lectores de pantalla, estructuras navegables y adaptabilidad.
- **La norma NTE INEN-ISO/IEC 40500** se adoptó en 2014 como traducción oficial de las directrices WCAG 2.0 y define los niveles de accesibilidad (A, AA, AAA). Posteriormente, en 2016 se publicó el reglamento técnico RTE INEN 288, que estipula que los sitios web del sector público y privado que ofrezcan servicios públicos deben cumplir al menos el nivel de accesibilidad AA. Se han establecido plazos para su aplicación: Nivel A en 2018 y Nivel AA en 2020. Esta normativa garantiza que los contenidos digitales sean accesibles para las personas con discapacidad visual y fomenta la inclusión desde las primeras etapas educativas Mora (2025).

5.7. Revisión de kits o recursos similares existentes

En el aprendizaje del Braille, las tecnologías de apoyo desempeñan un papel fundamental en el desarrollo de habilidades básicas como la percepción táctil, el reconocimiento de patrones y la comprensión de conceptos abstractos. A continuación, se describen algunas de las herramientas y recursos más importantes utilizados en este contexto:

Alfabeto A-Z Braille – PlanToys



Figura 5

Alfabeto A-Z Braille – PlanToys

Fuente: PlanToys USA (2022).

El alfabeto Braille A-Z de PlanToys es una ayuda física no tecnológica diseñada para los primeros aprendices. Este material permite explorar las letras mayúsculas y minúsculas tanto en Braille como en su representación visual impresa y fomenta la percepción táctil, el reconocimiento de símbolos y la asociación visual-táctil. Estas características lo convierten en una herramienta útil para experiencias de lectura tempranas y accesibles (PlanToys USA, 2022).

Está fabricado con materiales sostenibles, como madera de caucho sin productos químicos, adhesivos sin formaldehído, pigmentos orgánicos y tintes al agua. Sus dimensiones son 8,1 cm de ancho, 6,6 cm de largo y 1,1 cm de alto.

Orbit Reader 20



Figura 6

Orbit Reader 20

Fuente: Orbit Research (2019).

El Orbit Reader 20 es un dispositivo portátil que permite leer y escribir en braille con celdas braille dinámicas. Funciona como lector y bloc de notas, es compatible con ordenadores y dispositivos móviles y proporciona una herramienta de aprendizaje flexible e independiente. Al proporcionar una respuesta táctil directa del texto escrito, favorece la transición del prebraille al braille formal. Orbit Research (2019).

Taptilo Braille Learning Device



Figura 7

Taptilo Braille

Fuente: Taptilo (2018).

Taptilo es un dispositivo de aprendizaje interactivo que utiliza bloques físicos móviles con puntos Braille alineados con una guía digital. Mediante juegos y ejercicios táctiles, los alumnos pueden aprender letras, palabras y frases de forma divertida e intuitiva. Es especialmente adecuado para alumnos principiantes, ya que combina interacción física, respuesta inmediata y aprendizaje estructurado en un único entorno accesible. Taptilo (2018).

Mountbatten Brailier



Figura 8

Mountbatten Braille

Fuente: by Harpo (2024).

El Mountbatten Braille es una máquina electrónica diseñada para facilitar la enseñanza del Braille, ofreciendo retroalimentación auditiva, conectividad con computadoras y almacenamiento de archivos. Este dispositivo permite a los estudiantes escuchar el texto mientras lo escriben, fortaleciendo la asociación entre el sonido y la representación Braille, siendo ideal para entornos educativos inclusivos by Harpo (2024).

Perkins SMART Braille



Figura 9

SMART Braille de Perkins

Fuente: Perkins School for the Blind (2023).

El Perkins SMART Brailier es una versión digital de la clásica máquina de escribir Braille. Dispone de pantalla digital y salida de voz para que el texto pueda visualizarse y oírse al mismo tiempo. Esta característica facilita la participación de profesores y familiares sin conocimientos de Braille en el proceso de enseñanza y fomenta la interacción y el seguimiento en tiempo real. Perkins School for the Blind (2023).

Bricks Braille LEGO®

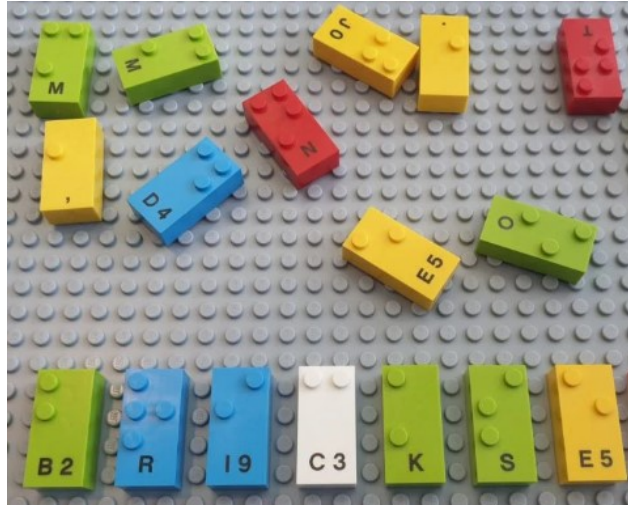


Figura 10

Bricks Braille LEGO®

Fuente: The LEGO Group (2024).

Los ladrillos LEGO® Braille están especialmente diseñados para aprender Braille jugando. Cada ladrillo contiene espigas que forman letras, números y símbolos Braille, que van acompañados de su correspondiente letra impresa. Esta propuesta permite a los niños aprender jugando, fortaleciendo habilidades táctiles y cognitivas, al tiempo que fomenta la inclusión y participación de compañeros, docentes y familiares sin discapacidad visual The LEGO Group (2024).

Si bien existen diferentes dispositivos de apoyo para el aprendizaje, la mayoría de dispositivos requieren habilidades avanzadas. Por ello, el presente proyecto se enfoca en el reconocimiento y aprendizaje de las letras en mayúscula con su respectivo Braille, facilitando la iniciación temprana mediante estímulos táctiles y auditivos pre-Braille.

5.8. Experiencia Local: Prototipo Experimental Inicial

Además de los recursos comerciales disponibles, se han observado que buscan atender necesidades específicas en contextos locales y situaciones particulares. Un caso relevante es el prototipo inicial diseñado para un niño de 3 años con pérdida visual progresiva, quien aún no había sido escolarizado ni había tenido contacto previo con el sistema Braille. Este prototipo consistía en una base de madera equipada con pulsantes, asociada a tarjetas plásticas con inscripciones en Braille elaboradas manualmente. Incorporaba una estructura electrónica compuesta por baterías, un regulador, un microcontrolador y bocinas, permitiendo que el niño interactuara de forma táctil y auditiva con las vocales.

Sin embargo, este recurso solo tiene limitaciones en cuanto a la estructura, y principalmente el problema de la estabilidad de los botones, ya que es fácil que pierdan su capacidad de funcionar bajo alta presión, lo que afecta el funcionamiento y la vida útil de la máquina. Además, la batería utilizada no es suficiente para proporcionar energía suficiente a los circuitos eléctricos, lo que provoca una disminución de la tensión, por lo que el sonido es tenue, ya que no hay suficiente energía para funcionar normalmente.



Figura 11

Primer prototipo

Fuente: Autor

Como respuesta a estas deficiencias, se propuso un segundo prototipo la cual se abarca el desarrollo de un kit el cual contendrá dos recursos didácticos, elaborado mediante impresión 3D las cuales contendrían la alfabetización con su inscripción en Braille, aparte de abarcar tarjetas NFC con su correspondiente imagen y audio. Este nuevo diseño proporciona mayor estabilidad, seguridad y adaptabilidad, mejorando así la experiencia de aprendizaje multisensorial en menores de edad en etapa preescolar con deficiencia visual.

Esta experiencia resalta la importancia de generar soluciones adaptadas a las características individuales de los menores de edad y sus entornos educativos, y evidencia cómo la integración de tecnologías accesibles permite el desarrollo progresivo de habilidades pre-Braille

en etapas iniciales de la educación inclusiva. En este contexto, la implementación de estrategias de enseñanza multisensoriales resulta esencial, ya que permite involucrar simultáneamente diferentes sentidos en los procesos de aprendizaje, facilitando así la asimilación y retención de información.

6. Marco metodológico

6.1. Justificación pedagógica basada en el modelo de Kolb

La propuesta metodológica del presente proyecto se fundamenta en el modelo de aprendizaje experiencial de David Kolb (1984), el cual concibe el aprendizaje como un proceso mediante el cual el conocimiento se crea a través de la transformación de la experiencia. Este modelo se articula en un ciclo compuesto por cuatro fases interdependientes: experiencia concreta, observación reflexiva, conceptualización abstracta y experimentación activa *El poder del vídeo en el ciclo de aprendizaje de Kolb (2023)*.

En el marco de esta investigación, el kit de aprendizaje pre-Braille ha sido diseñado intencionalmente para integrar dichas fases, convirtiendo el modelo de Kolb en un andamiaje pedagógico funcional que guía tanto el diseño como la aplicación de los dispositivos multisensoriales. A continuación, se detalla la correspondencia entre cada fase del ciclo y los elementos del kit:

- **Experiencia concreta:** Se activa mediante la interacción inicial con el *Alfabeto 3D con sistema Braille y tecnología NFC*, el cual permite la exploración táctil de las letras en formato macro Braille, combinada con estímulos auditivos generados por una interfaz digital accesible. Esta experiencia multisensorial facilita la familiarización con el sistema Braille de forma significativa y accesible.
- **Observación reflexiva:** Tras la interacción inicial, el niño realiza un proceso de reflexión sensorial mediante la repetición auditiva y el reconocimiento táctil de los caracteres. Esta etapa promueve la atención al detalle, la discriminación perceptiva y la consolidación de patrones sensoriales a través de la memoria.
- **Conceptualización abstracta:** Se concreta mediante el uso del *prototipo electrónico de evaluación con pulsadores*, el cual introduce combinaciones de puntos Braille como estructuras simbólicas. Esta herramienta permite al niño desarrollar representaciones mentales abstractas a partir de la experiencia sensorial, facilitando la comprensión del código Braille como un sistema lógico.

- **Experimentación activa:** Finalmente, el niño valida sus conocimientos a través de la interacción con los botones del prototipo, que brindan retroalimentación inmediata. Esta etapa estimula la transferencia activa del conocimiento, el refuerzo de la comprensión y el desarrollo de la autonomía en la identificación de caracteres.

Este diseño metodológico no solo implementa el ciclo de Kolb como una teoría subyacente, sino que lo *operativiza* en recursos pedagógicos concretos que responden a las particularidades del aprendizaje en niños con discapacidad visual. Al alinearse con las fases del ciclo, el kit favorece un proceso educativo dinámico, multisensorial y centrado en el estudiante.

Asimismo, esta propuesta permite atender los distintos estilos de aprendizaje identificados por Kolb, asegurando una respuesta pedagógica diversa y adaptativa:

- **Estilo divergente (sentir y observar):** estimulado por la exploración táctil y auditiva del alfabeto 3D.
- **Estilo asimilador (observar y pensar):** facilitado por la reflexión y el reconocimiento de patrones sensoriales.
- **Estilo convergente (pensar y actuar):** desarrollado en la comprensión simbólica y lógica del Braille.
- **Estilo acomodador (hacer y sentir):** activado mediante la retroalimentación inmediata y la participación activa con los pulsadores.

Proyección pedagógica del recurso pop-it dentro del modelo de Kolb:

Si bien el pop-it con función de traductor Braille–lenguaje natural no forma parte del kit actual, se proyecta como un recurso complementario de futura incorporación que permitirá fortalecer y completar el ciclo de Kolb desde una perspectiva más autónoma e inclusiva. Este dispositivo posibilita que el usuario configure letras en Braille de forma manual y reciba retroalimentación visual y auditiva mediante un sistema de reconocimiento basado en inteligencia artificial. Con ello, se estimula la experiencia concreta (manipulación del pop-it), la observación reflexiva (análisis del reconocimiento), la conceptualización abstracta (comprensión de estructuras del sistema Braille) y la experimentación activa (reconfiguración de letras para validar el aprendizaje). No obstante, su implementación pedagógica efectiva dependerá del desarrollo de una base robusta de datos que permita el entrenamiento del sistema con altos estándares de precisión. Esta futura integración enriquecerá la propuesta metodológica al incorporar una herramienta accesible, económica y flexible, fortaleciendo la transferencia de conocimiento.

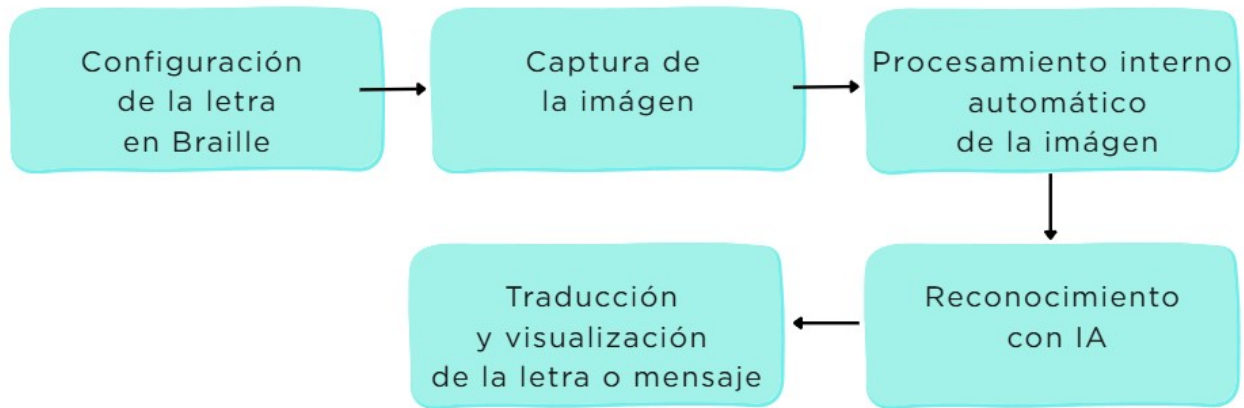


Figura 12

Diagrama de bloques



Figura 13

Resultados esperados

7. Desarrollo Técnico y Prototipado de los Recursos

7.1. Primer Recurso Didáctico: Alfabeto 3D con Braille y NFC

Este dispositivo se diseñó para facilitar el reconocimiento táctil del alfabeto y su correspondencia en Braille, utilizando la tecnología NFC para reforzar el aprendizaje mediante

contenido audiovisual accesible.

Las etapas técnicas se describen a continuación:

7.1.1. Hardware:

Inicialmente, se elaboraron prototipos en cartulina Canson y espuma flex, permitiendo validar la forma, el tamaño y la facilidad de manipulación.

Posterior a la validación del diseño, se utilizó software de diseño asistido por computadora (Inventor) para la elaboración digital de las piezas del alfabeto, integrando su representación en Braille y cada diseño contuvo la ranura correspondiente para las tarjetas NFC, a base se utilizó términos de proporcionalidad recomendados por Comisión Braille Española (2024).

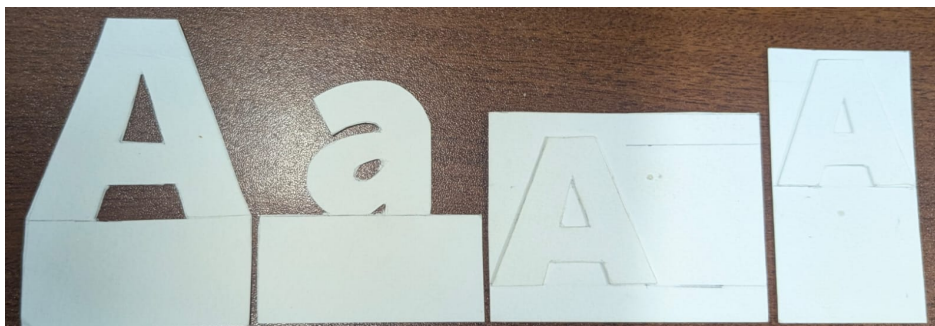


Figura 14

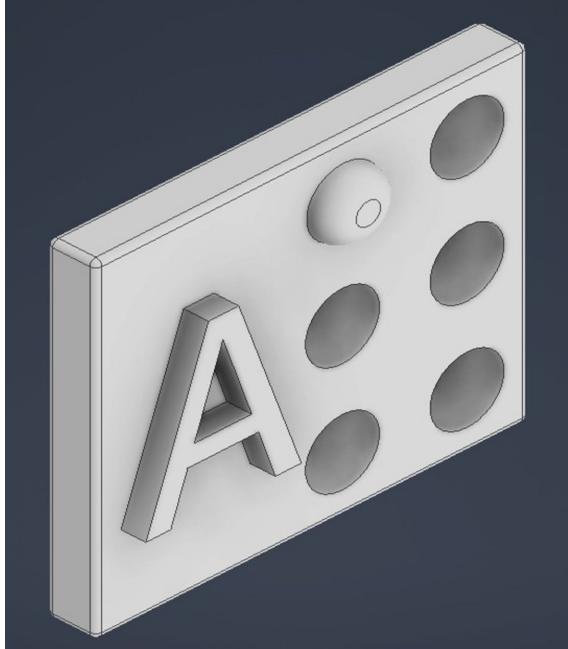
Prototipo en Cartulina Canson

Fuente: Autor.

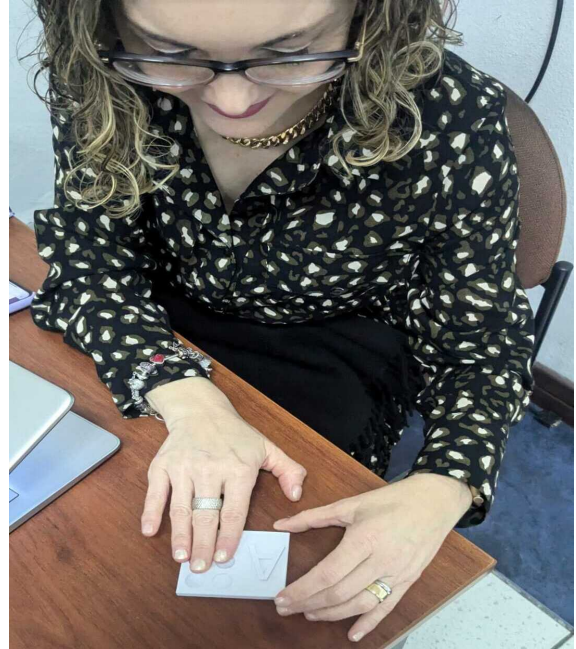
Se realizó la impresión en 3D de la pieza A por parte de la Cátedra UNESCO, sobre la cual se llevaron a cabo pruebas ergonómicas y de percepción táctil. A partir de estas pruebas, se recibió retroalimentación de la especialista pedagógica, quien identificó aspectos clave para mejorar el diseño:

- La necesidad de aumentar el relieve de los puntos Braille y asegurar que tuvieran la misma altura que el relieve de la letra, para facilitar su correcta identificación táctil.
- La ampliación de las dimensiones de la ranura destinada a las tarjetas NFC, ya que se detectaron ligeras discrepancias en su tamaño que dificultaban la inserción adecuada de las tarjetas.

Con base en esta retroalimentación, se realizaron los ajustes necesarios en el diseño de la pieza, que posteriormente fue reimpressa para una nueva validación, convirtiéndose así en el diseño final.



(a) *Diseño en Inventor*



(b) *Retroalimentación*



(c) *Primer prototipo impreso*



(d) *Segundo prototipo impreso*

o0per4

Figura 15

Proceso de diseño, retroalimentación y prototipado del dispositivo.

Fuente: Autor.

Con la última verificación se procedió a imprimir las 26 letras faltantes.

7.1.2. Software:

Cada una de las letras impresas en 3D incorpora una etiqueta NFC pasiva, que permite redirigir al usuario, al acercar un dispositivo móvil compatible, a una página web educativa específica para dicha letra. Este recurso complementa el aprendizaje multisensorial al ofrecer información visual, auditiva y textual de forma accesible.

La programación de las etiquetas NFC se realizó utilizando la aplicación móvil gratuita NFC Tools (2025), disponible en la plataforma Play Store. En la siguiente gráfica se podrá observar los pasos para la escritura de las tarjetas NFC



Figura 16

Escritura NFC

Fuente: Autor.

Mediante esta herramienta se asignó a cada etiqueta NFC la URL correspondiente a su página. Una vez finalizado el proceso de escritura, se realizaron pruebas de lectura con distintos modelos de dispositivos móviles para comprobar el correcto funcionamiento de las tarjetas NFC y su compatibilidad con distintas marcas y versiones de sistemas operativos.

Este procedimiento garantizó que el recurso educativo pueda ser utilizado de forma autónoma y accesible por docentes, terapeutas o familiares, sin requerir conocimientos técnicos avanzados. El principal objetivo de este recurso es reforzar el aprendizaje multisensorial de los niños de combinando estímulos táctiles, visuales (para personas con baja visión) y auditivos. Para desarrollar el recurso digital se utilizaron tecnologías web estándar y servicios de alojamiento gratuito, teniendo en cuenta criterios de accesibilidad y buenas prácticas de diseño. Además, la estructura de archivos se organizó en un repositorio en la plataforma GitHub, lo que permitió una gestión ordenada del proyecto, así como la posibilidad de realizar ajustes y actualizaciones en de forma colaborativa y controlada. Se crearon los siguientes directorios y archivos:

Elemento	Descripción
<code>audio</code>	Carpeta que contiene los archivos de audio en formato mp3 asociados a cada letra, utilizados en la retroalimentación auditiva.
<code>imágenes</code>	Carpeta que almacena las imágenes en formato webp de apoyo visual para cada letra, destinadas a usuarios con baja visión.
<code>abecedario.js</code>	Archivo de programación en JavaScript que gestiona la interacción y el funcionamiento dinámico de la página.
<code>estilos.css</code>	Hoja de estilos que define el diseño visual, garantizando contraste, legibilidad y simplicidad.
<code>index.html</code>	Lenguaje semántico para estructurar el contenido de la página de la web.

Tabla 1

Estructura de Archivos y Repositorio

Se realizó el despliegue en Netlify el cual se vinculó con el repositorio del GitHub, como podemos observar en la siguiente figura;

```

Code | Home | 31 Lines (203 B) | 2.89 KB | Code 52% faster with GitHub Copilot
1 <doctype html>
2 <html lang="es">
3 <head>
4 <meta charset="UTF-8">
5 <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
6 <title>Abecedario Braille</title>
7 <link rel="stylesheet" href="estilos.css">
8 </head>
9 <body>
10 <!-- Figuras decorativas (opcionales) -->
11 <div class="shape shape1" aria-hidden="true"></div>
12 <div class="shape shape2" aria-hidden="true"></div>
13 <div class="shape shape3" aria-hidden="true"></div>
14 <div class="shape shape4" aria-hidden="true"></div>
15 </div>
16 <!-- Encabezado oculto para accesible -->
17 <header>
18 <div class="sr-only">Abecedario Braille Interactivo</div>
19 </header>
20
21 <!-- Contenido principal -->
22 <div class="main-container" role="main">
23 <div class="letter-card">
24 <!-- Letra visible -->
25 <div id="letter-name">C</div>
26
27 <!-- Sonido del Braille con descripción -->
28 <div class="braille-container">
29 
30 </div>

```

(a) HTML del recurso digital



(b) Primer recurso digital

Figura 17

Parte del código y visualización del primer recurso digital.

Fuente: Autor.

7.2. Segundo Recurso Didáctico: Prototipo electrónico de 6 puntos Braille

Este segundo recurso fue concebido como una herramienta de práctica y evaluación del aprendizaje pre-Braille, que permite a los usuarios formar combinaciones mediante pulsantes que simulan una celda Braille. El sistema detecta la configuración ingresada y proporciona retroalimentación auditiva, indicando si la combinación es correcta o incorrecta.

El desarrollo se realizó en las siguientes fases:

7.2.1. Hardware:

Como fase preliminar, se construyó un modelo a escala con cartón, simulando la ubicación y separación de los pulsadores, con el fin de validar:

- La correcta disposición ergonómica de los seis puntos Braille.
- La accesibilidad y facilidad de exploración para personas con discapacidad visual.
- La detección temprana de ajustes estructurales antes del desarrollo e implementación tecnológica.

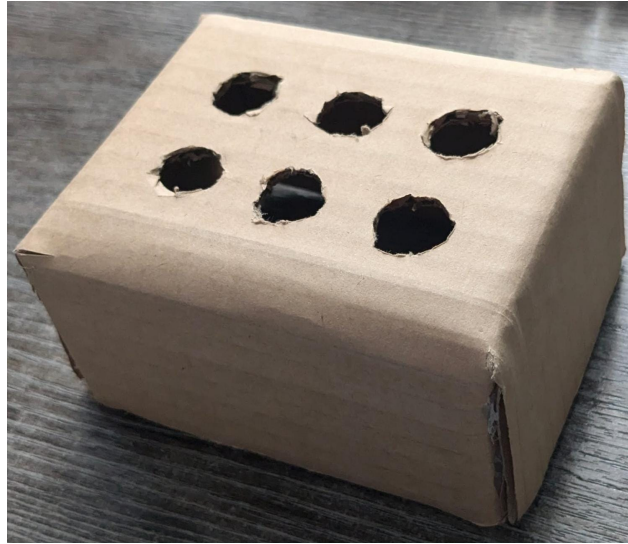


Figura 18

Modelo Escala

Fuente: Autor.

Previo al diseño e implementación de la PCB, se realizó el prototipado del circuito en una placa protoboard con el objetivo de verificar el correcto funcionamiento de los componentes y de la lógica planteada. El circuito estuvo compuesto por seis pulsantes de enclavamiento, un microcontrolador ESP32, un módulo reproductor de audio DFPlayer Mini, un parlante de 4Ω y 3W.

Durante esta etapa se implementó la lectura de los pulsantes utilizando las resistencias internas pull-up del ESP32, lo que permitió simplificar el diseño al no requerir resistencias externas. La lógica programada definió que todos los pulsantes inician en estado alto (levantados), y que únicamente se deben presionar (presionados) aquellos que no forman parte del patrón Braille correspondiente.

Este montaje permitió validar:

- La conectividad y respuesta de cada entrada digital.
- La interacción del microcontrolador con el DFPlayer Mini.
- La coherencia de la lógica de lectura para identificar combinaciones Braille.
- La distribución preliminar y ubicación relativa de los componentes para el posterior diseño físico del dispositivo.

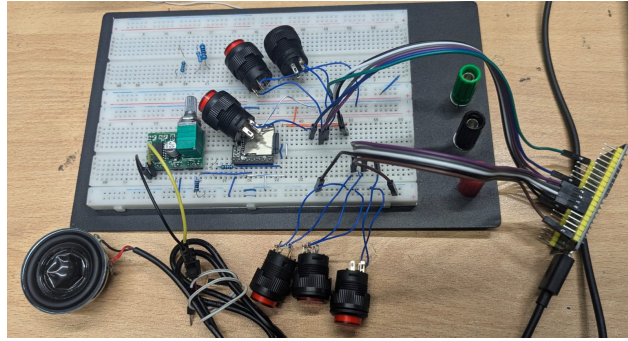


Figura 19

Pruebas de Protoboard

Fuente: Autor.

Después de verificar la correcta integración y funcionamiento de los componentes electrónicos, se diseñó una placa de circuito impreso (PCB) utilizando el software profesional Altium Designer, permitiendo elaborar tanto el esquemático como el ruteo de las pistas de manera precisa y optimizada para una correcta impresión de la placa .

Proceso realizado:

- En la primera etapa se elaboró el esquemático en Altium, representando de forma detallada la interconexión entre los componentes electrónicos.
- Como parte del diseño, se implementó un divisor de voltaje, cuya función es adaptar correctamente los niveles de tensión requeridos por el ESP32 y el DFPlayer Mini, evitando sobrealimentación y asegurando un funcionamiento estable.
- Posteriormente, se realizó el ruteo de las pistas sobre la placa, cuidando la disposición de los componentes para minimizar interferencias eléctricas y facilitar el ensamblaje.
- El diseño de la PCB contempló dimensiones compactas, distribución ergonómica y la inclusión de máscara antisolder para proteger las pistas y mejorar la durabilidad.

Etapas visuales del proceso:

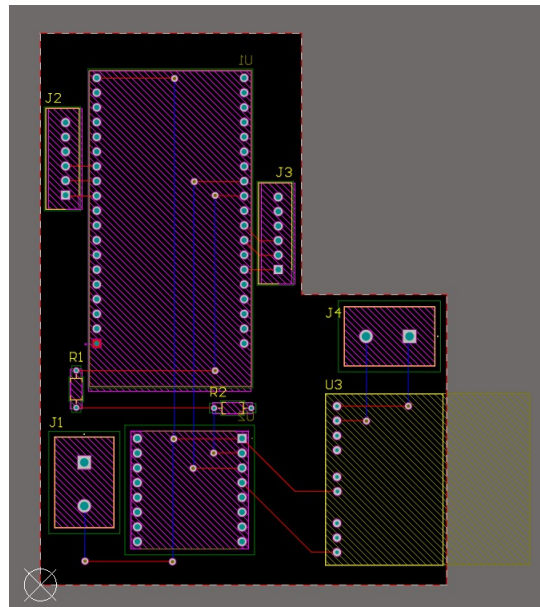


Figura 20

Ruteo Final-Altium

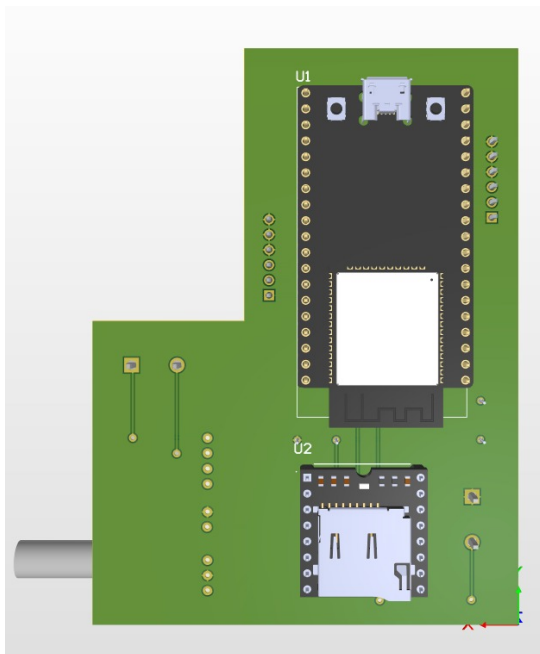


Figura 21

Cara inferior de la PCB

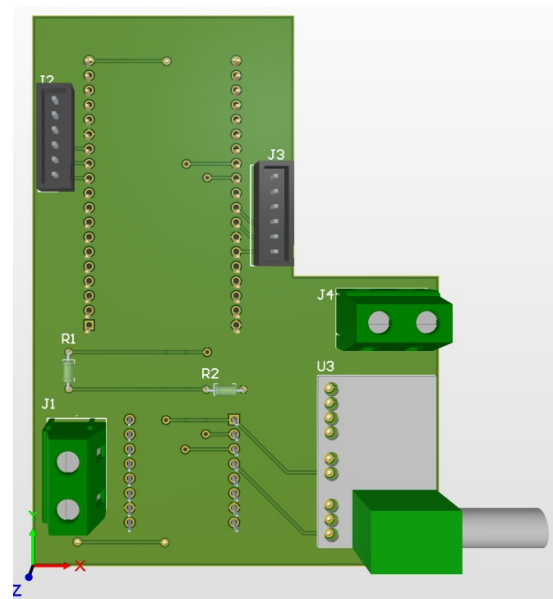


Figura 22

Cara superior de la PCB

Una vez finalizado el diseño, se procedió a la impresión y fabricación de la PCB, seguida

de la soldadura manual de los componentes electrónicos, asegurando conexiones firmes y correctas, finalizando con la verificación de la continuidad entre los componentes previo a pruebas con el PCB.

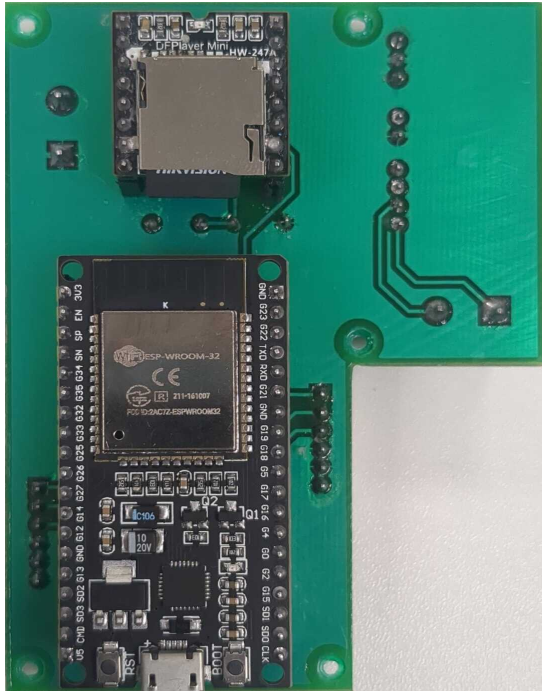


Figura 23

Cara inferior de la PCB soldada

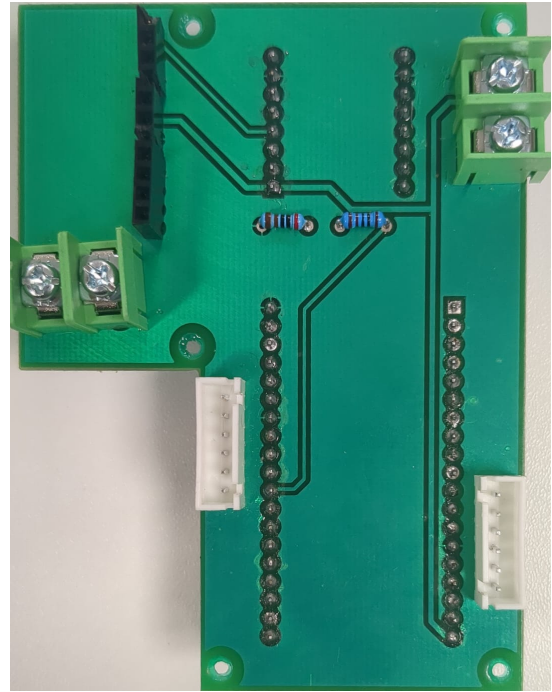


Figura 24

Cara superior de la PCB soldada

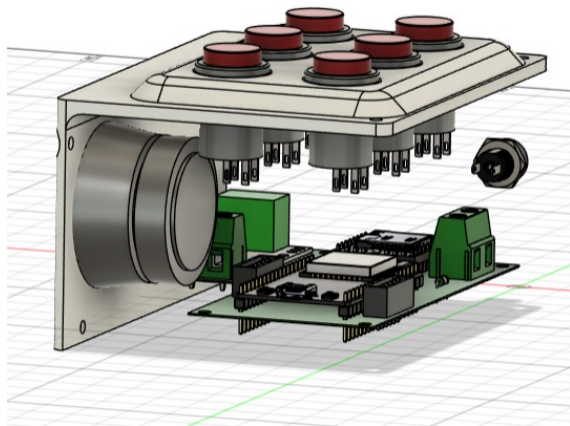
Con el fin de garantizar la ergonomía, accesibilidad y protección de los componentes electrónicos, se diseñó una carcasa personalizada para el dispositivo. El diseño consideró criterios de accesibilidad para personas con discapacidad visual, así como dimensiones adecuadas para facilitar la manipulación.

El proceso se desarrolló de la siguiente manera:

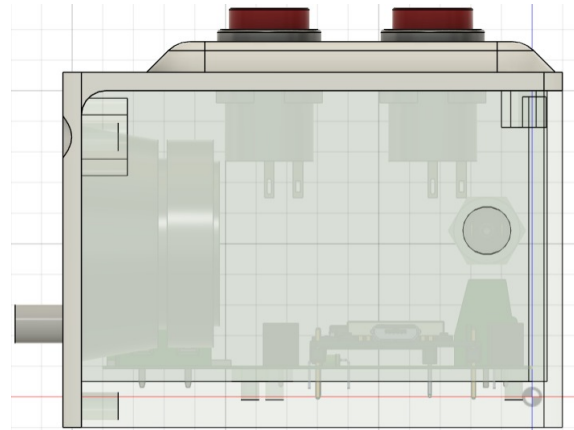
- En la primera etapa se elaboró el diseño 3D de la carcasa, definiendo las dimensiones a base de la PCB, ubicación de los seis pulsantes de enclavamiento, espacio para el parlante, y orificios de ventilación y sujeción.
- Se realizaron ajustes en el diseño para garantizar que la estructura interna permitiera un montaje seguro de la PCB y de los componentes electrónicos.
- Posteriormente, se procedió a la impresión de la carcasa utilizando material PLA, seleccionado por su resistencia, ligereza y bajo nivel de toxicidad.

- Finalmente, se realizó el ensamblaje del dispositivo, integrando la PCB previamente fabricada y los componentes electrónicos dentro de la carcasa, completando así el prototipo funcional listo para las pruebas de validación.

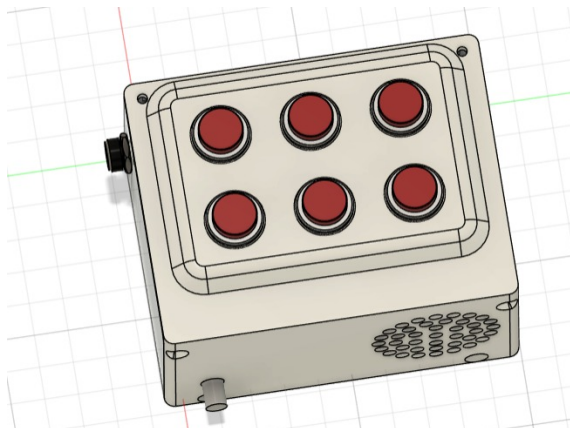
Etapas visuales del proceso:



(a) *Primera etapa*



(b) *Segunda etapa*



(c) *Diseño*



(d) *Carcasa Impresa*

Figura 25

Proceso de desarrollo para la carcasa.

Fuente: Autor.

Este proceso permitió obtener la carcasa para el recurso haciéndolo esto más robusto, funcional y estéticamente adecuado, cumpliendo con los requisitos de seguridad, ergonomía y accesibilidad.

7.2.2. Software

El desarrollo del software tuvo como objetivo la implementación de la lógica del funcionamiento de las combinación para los pulsantes que representaran el sistema Braille. Para ello el sistema se programó en Arduino IDE, permitiendo:

Obtención de la lectura del estado de cada pulsante y la interpretación de la combinación ingresada en formato binario, correspondiente al código Braille, donde un pulsante cerrado representa un 0 y uno abierto representa un 1. Posteriormente, se reproduce un audio que indica si la combinación ingresada corresponde a una letra válida o si se trata de un error.

El código fue estructurado de manera que el sistema se reinicie una vez que todos los pulsantes se encuentran en posición inicial, y brindando así un margen de tiempo para que el usuario forme la configuración deseada. El tiempo de espera va desde la última modificación hasta un máximo de 3 segundos, permitiendo la interpretación de la combinación. Las combinaciones implementadas corresponden al alfabeto Braille en su totalidad, codificadas en binario como se puede observar en la siguiente tabla.

Binario	Letra	Binario	Letra
000001	A	111011	Ñ
000011	B	010101	O
001001	C	001111	P
011001	D	011111	Q
010001	E	010111	R
001011	F	001110	S
011011	G	011110	T
010011	H	100101	U
001010	I	100111	V
011010	J	111010	W
000101	K	101101	X
000111	L	111101	Y
001101	M	110101	Z
011101	N		

Tabla 2

Tabla de códigos binarios y letras en dos columnas

Posterior a la designación de pines y código se realizaron las pruebas en un proceso iterativo

y ajustes correspondientes, se verificaron manualmente todas las letras del abecedario Braille consideradas, observando la reacción del sistema ante cada configuración en el Monitor Serial como método de validación del sistema.

Asimismo, se desarrollaron rutinas básicas de manejo de errores, como la reproducción de un audio genérico de advertencia en caso de que se detectara una combinación inválida o no definida en el sistema. También se gestionaron delays adecuados entre cada reproducción para evitar solapamientos o fallos en la salida de audio.

7.2.3. Dificultades técnicas durante el desarrollo

Durante el proceso de construcción del segundo dispositivo, se presentaron varios inconvenientes técnicos que obligaron a realizar ajustes al diseño original:

- El módulo amplificador PAM8403 se vio afectado por el sobrecalentamiento al momento de la soldadura, lo que provocó su daño. Fue necesario desoldarlo y adaptar el diseño para su reemplazo.
- La disposición de los componentes en una sola cara de la PCB implicó reubicar el ESP32 y el DFPlayer Mini, lo cual requirió desoldar y soldar de forma invertida la peineta para lograr la lógica de conexión esperada.
- El divisor de voltaje originalmente implementado no generaba el nivel de tensión adecuado. Por ello, se decidió eliminar dicho divisor y realizar conexiones directas para garantizar el funcionamiento del sistema.
- Se añadió un convertidor Voltaje Buck DC-DC para mantener estable la alimentación del circuito.

Estos ajustes permitieron mejorar la operatividad del prototipo y asegurar su correcto funcionamiento antes de la validación funcional.

8. Resultados

Para los recursos de aprendizaje pre-Braille se obtuvieron los siguientes datos

8.1. Resultados Técnicos del Kit Multisensorial

8.1.1. Alfabeto 3D con Braille y NFC

Se diseñaron e imprimieron en 3D las 27 letras del alfabeto español, cada una con su respectivo relieve en Braille, asegurando una altura y separación de puntos adecuada para la lectura táctil.

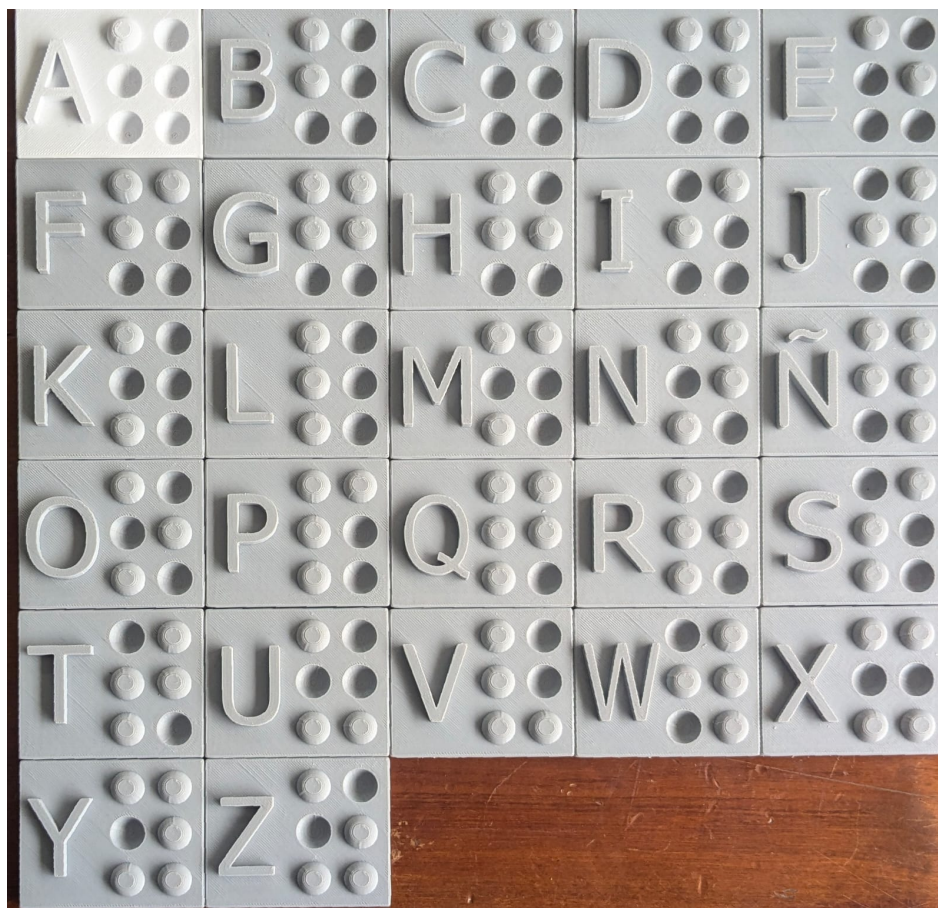


Figura 26

Alfabeto Braille

Fuente: Autor.

Cada letra incorpora una ranura destinada a insertar una etiqueta NFC (NTAG215), programada individualmente para redirigir al usuario a una página web educativa accesible correspondiente a dicha letra. Esto permite reforzar el aprendizaje mediante la asociación táctil y auditiva de cada símbolo. Por lo cual la siguiente tabla podemos observar algunas marcas de dispositivos móviles que ofrecen la compatibilidad con las tarjetas NFC;

Marca / Modelo	¿Tiene NFC?	Ubicación del lector NFC	Observaciones
Samsung Galaxy S8 en adelante	Sí	Parte superior trasera (cerca de la cámara)	Disponible globalmente con NFC integrado
Google Pixel (todos los modelos)	Sí	Parte superior central trasera	Todos los modelos incluyen NFC de forma estándar
iPhone 7 y posteriores	Sí	Parte superior frontal (zona superior del dispositivo)	Escritura habilitada desde iOS 13 en adelante
Huawei P30 / P40 / Mate series	Sí*	Parte central trasera	Algunas variantes (como P40 Lite) no tienen NFC
Xiaomi Mi 9 / Mi 10 / 11 / 12 / 13 series	Sí	Parte central trasera	Versiones "Lite" Pueden no tener NFC
OnePlus 6T en adelante	Sí	Parte central trasera	Todos los modelos principales tienen NFC
Sony Xperia (XZ, XZ1, XZ2, XZ3, 1, 5, 10)	Sí	Parte central trasera	Muy buena compatibilidad con NTAG215
Motorola Edge / G Plus / Razr	Sí*	Parte superior trasera	Modelos económicos (Moto G Power, E) usualmente no tienen NFC
Honor Magic 6 Lite	Parcial	Parte superior trasera (si disponible)	Solo algunas regiones tienen NFC
Oppo Reno / Find X Series	Sí	Parte superior trasera	Confirmar por región; algunos modelos no traen NFC
Realme GT / X Series	Sí*	Parte central trasera	No todos los modelos tienen chip NFC (depende de la versión)
ASUS ROG Phone (todos)	Sí	Parte trasera cerca del centro	Buen soporte para NFC y lectura NTAG215
ZTE Axon Series	Sí	Parte central trasera	Confirmar en el modelo exacto

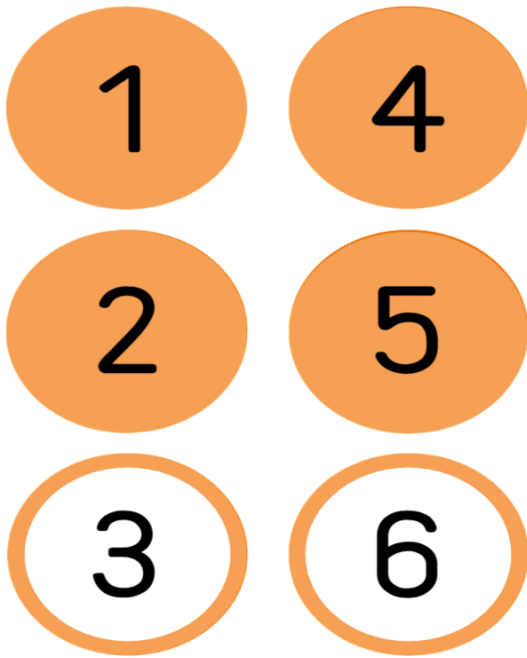
Tabla 3

Compatibilidad de la tarjeta NFC en algunos dispositivos móviles

No todos los dispositivos móviles cuentan con tecnología NFC integrada, lo cual limita

su compatibilidad con tarjetas como la NTAG215. Esta función suele estar presente en dispositivos de gama media-alta o alta, mientras que muchos modelos económicos la omiten. Además, algunos teléfonos solo incluyen NFC en versiones específicas para ciertas regiones, como es el caso del Honor Magic 6 Lite, o versiones como Redmi 9 y anteriores, Redmi 10A y Redmi 12C no contienen un lector NFC. Incluso cuando el dispositivo dispone de NFC, no todos los lectores integrados permiten escribir en tarjetas NTAG215, ya que algunos solo habilitan la lectura. A esto se suma la dependencia del sistema operativo y las aplicaciones disponibles, ya que funciones como la escritura NFC están restringidas en versiones antiguas de iOS o limitadas por el fabricante en ciertos modelos Android.

Para comprobar el cumplimiento de los requisitos de contraste establecido por la norma NTE INEN-ISO/IEC 40500, se emplearon herramientas especializadas como Colors (2025), Accessible Web (2024) y WebAIM (2009). Tras los ajustes realizados para la imagen se verificó el contraste entre el texto y el fondo alcanzó valores entre 10.07 y 10.08, superando ampliamente el mínimo requerido de 4.5:1 para texto normal y 3:1 para texto grande, garantizando así la adecuada percepción para usuarios con baja visión o daltonismo.

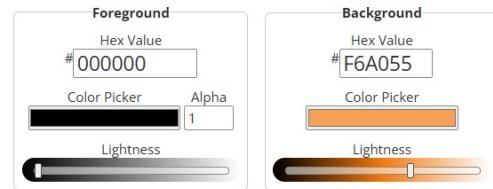


(a) Imagen final para el recurso digital

Fuente: Autor

Contrast Checker

[Home](#) > [Resources](#) > Contrast Checker



Contrast Ratio
10.07:1

[permalink](#)

Normal Text

WCAG AA: Pass

WCAG AAA: Pass

The five boxing wizards jump quickly.

Large Text

WCAG AA: Pass

WCAG AAA: Pass

The five boxing wizards jump quickly.

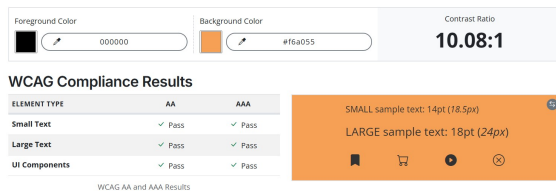
Graphical Objects and User Interface Components

WCAG AA: Pass



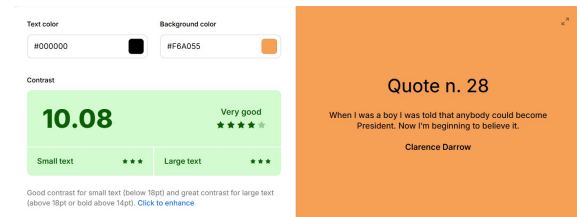
(b) Resultados obtenidos de WebAIM

Fuente: WebAIM (2009)



(c) Resultados obtenidos de Accessibleweb

Fuente: Accessible Web (2024)



(d) Resultados obtenidos de Colors

Fuente: Colors (2025)

Figura 27

Comparación de herramientas para análisis de contraste y recurso digital

Así mismo se realizó la verificación de contraste para los diferentes títulos de las letras dándonos la siguiente tabla:

Nº	Color (Nombre)	Hex	Colors	Accesible web	WebAIM
1	Negro	#000000	21.00	21.00:1	21:1
2	Azul Marino Oscuro	#003366	12.61	12.61:1	12.61:1
3	Marrón Oscuro	#4B2E2E	12.14	12.14:1	12.14:1
4	Vino	#800020	10.83	10.83:1	10.83:1
5	Verde Bosque	#004D00	10.19	10.19:1	10.18:1
6	Azul Petróleo	#004747	10.54	10.54:1	10.54:1
7	Púrpura Oscuro	#301934	15.98	15.98:1	15.97:1
8	Gris Oscuro	#333333	12.63	12.63:1	12.63:1
9	Azul Medianoche	#191970	14.85	14.85:1	14.84:1
10	Verde Azulado Oscuro	#004953	10.11	10.11:1	10.10:1
11	Azul Profundo	#002147	16.05	16.05:1	16.04:1
12	Rojo Quemado	#8B0000	10.01	10.01:1	10.01:1
13	Verde Pizarra	#2A4646	10.18	10.18:1	10.17:1
14	Castaño	#563B2F	10.18	10.18:1	10.18:1
15	Verde Militar Oscuro	#38471F	10.05	10.05:1	10.05:1
16	Azul Cadete Oscuro	#183D3D	11.84	11.84:1	11.83:1
17	Índigo Profundo	#1A1A68	15.09	15.09:1	15.09:1
18	Rojo Granada	#7C0A02	11.05	11.05:1	11.04:1
19	Marrón Chocolate	#381819	16.00	16.00:1	15.99:1
20	Azul Arándano	#2A3D66	10.73	10.73:1	10.72:1
21	Violeta Oscuro	#4B0082	12.95	12.95:1	12.95:1
22	Verde Abeto	#014421	11.35	11.35:1	11.35:1
23	Azul Cobalto	#003B8F	10.38	10.38:1	10.38:1
24	Azul Acero	#25455F	10.02	10.02:1	10.02:1
25	Rojo Óxido	#6A0D0D	12.53	12.53:1	12.52:1
26	Azul Prusia	#004475	10.08	10.08:1	10.07:1
27	Verde Selva	#1B4D3E	10.35	9.64:1	9.64:1

Tabla 4

Contraste de colores y su accesibilidad

Como complemento, se diseñó, programó y desplegó una plataforma web accesible siguiendo los lineamientos de la norma y verificada mediante herramientas WAVE y TAW. Esta plataforma garantiza contraste adecuado, etiquetas semánticas, navegación mediante teclado

y compatibilidad con lectores de pantalla, asegurando su uso por parte de personas con deficiencia visual.

Resultados obtenidos con WAVE:

Categoría	Elemento detectado	Resultado / Observación
Alertas	HTML5 <audio>	Detectado sin controles visibles. Solucionado con botón accesible con <code>aria-label</code> .
Características	Texto alternativo (<code>alt</code>) Idioma de la página (<code>lang='es'</code>)	Correctamente implementado. Correctamente definido.
Elementos estructurales	<header>, <main>, <footer>, <h1>, <h2>	Presentes y bien jerarquizados.
ARIA	<code>aria-label</code> <code>aria-hidden="true"</code> (6 elementos)	Correctamente aplicado en el botón de reproducción. Utilizado en elementos decorativos, sin interferir con lectores de pantalla.

Tabla 5

Resultados de accesibilidad web con WAVE

Fuente: Elaboración propia a partir de WAVE Report of Abecedario Braille (2025)

Con los resultados obtenidos podemos confirmar un adecuado cumplimiento de los principios de accesibilidad perceptible, operable y comprensible, destacando la estructura semántica y compatibilidad con tecnologías de asistencia

Resultados obtenidos con TAW:

Principio WCAG	Criterio evaluado	Resultado / Observación
Perceptible	1.1.1 Contenido no textual 1.4.3 Contraste (mínimo) 1.4.5 Imágenes con texto	Imágenes con texto alternativo implementado (alt). Validado con Colors, WebAIM y Accessible Web. Valores entre 10.07 y 21.00. Sustituibles por HTML. Uso correcto detectado.
Operable	2.1.1 Navegación con teclado 2.2.2 Contenido en movimiento 2.4.1–2.4.6 Estructura de navegación	Correctamente implementada. Controlado. Botón de reproducción bien etiquetado. Orden lógico del foco, encabezados correctos, navegación coherente.
Comprensible	3.1.2 Idioma definido 3.2.2 Cambios al introducir datos 3.2.4 Identificación consistente	lang='es' correctamente aplicado en el HTML. Scripts controlados, sin cambios inesperados. Elementos interactivos correctamente etiquetados.
Robusto	4.1.2 Nombre, rol y valor	Atributos como aria-label , role correctamente implementados en botones y controles.

Tabla 6

Resultados de accesibilidad web con TAW (WCAG 2.0 AA)

Fuente: Elaboración propia a partir de TAW Ctic (2017)

Basado en los resultados de TAW podemos decir que código fuente evidencia la implementación de buenas prácticas como **aria-hidden** para elementos decorativos, uso correcto de etiquetas **header**, **main**, **footer**, e inclusión de contenido textual alternativo en reproductores.

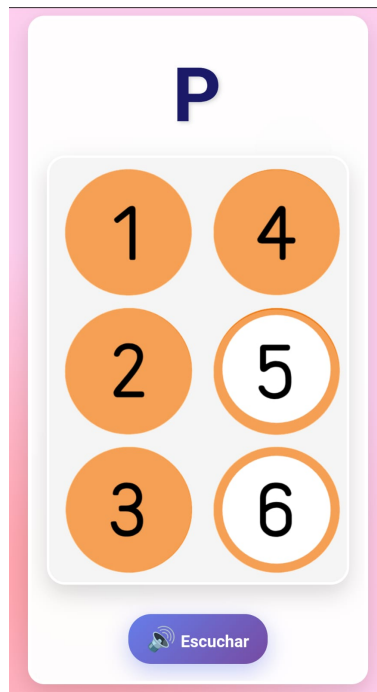


Figura 28

Resultado Final - Página web

Fuente: Autor

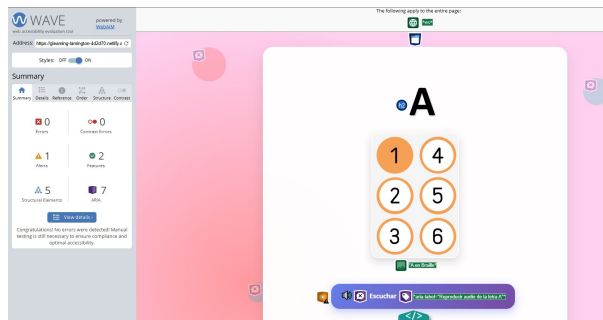


Figura 29

Resultado WAVE

Fuente: WAVE Report of Abecedario Braille (2025)

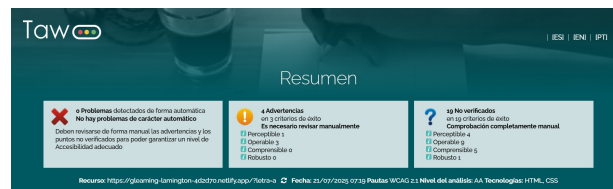


Figura 30

Resultado TAW

Fuente: Ctic (2017)

8.1.2. Dispositivo electrónico de 6 puntos Braille

Se diseñó e imprimió en 3D una carcasa ergonómica para alojar un circuito electrónico basado en un microcontrolador ESP32 y seis pulsantes con enclavamiento que simulan una celda Braille. Este diseño permite al usuario ingresar combinaciones que representan las letras del alfabeto en su codificación Braille.

El dispositivo incorpora un módulo DFPlayer Mini para la reproducción de archivos de audio, amplificación PAM8403 y un altavoz de 4Ω y 3W, ofreciendo retroalimentación auditiva inmediata que indica la letra reconocida o un mensaje de error en caso de combinación inválida. La programación se realizó utilizando el entorno Arduino IDE, asegurando una operación fluida y tiempos de respuesta mínimos.

Se programaron las 27 letras del alfabeto español, así como múltiples combinaciones inválidas para evaluar su respuesta. El sistema respondió de forma estable, reproduciendo los archivos de audio correspondientes sin latencia apreciable. También se implementaron rutinas de manejo de errores mediante archivos de audio tipo “0099.mp3”, reforzando su función como herramienta pedagógica de autoevaluación.

Letra	Binario	Audio	Resultado	Letra	Binario	Audio	Resultado
A	000001	0001.mp3	Válido	Ñ	111011	0015.mp3	Válido
B	000011	0002.mp3	Válido	O	010101	0016.mp3	Válido
C	001001	0003.mp3	Válido	P	001111	0017.mp3	Válido
D	011001	0004.mp3	Válido	Q	011111	0018.mp3	Válido
E	010001	0005.mp3	Válido	R	010111	0019.mp3	Válido
F	001011	0006.mp3	Válido	S	001110	0020.mp3	Válido
G	011011	0007.mp3	Válido	T	011110	0021.mp3	Válido
H	010011	0008.mp3	Válido	U	100101	0022.mp3	Válido
I	001010	0009.mp3	Válido	V	100111	0023.mp3	Válido
J	011010	0010.mp3	Válido	W	111010	0024.mp3	Válido
K	000101	0011.mp3	Válido	X	101101	0025.mp3	Válido
L	000111	0012.mp3	Válido	Y	111101	0026.mp3	Válido
M	001101	0013.mp3	Válido	Z	110101	0027.mp3	Válido
N	011101	0014.mp3	Válido				

Tabla 7

Validación funcional del dispositivo: combinaciones Braille y archivos de audio

N.º	Texto	Archivo de Audio	Resultado
1	Intenta otra vez	0099.mp3	Error reconocido
2	Esa no es una combinación válida	0100.mp3	Error reconocido
3	Por favor, vuelve a intentarlo	0101.mp3	Error reconocido
4	Uuuy, no es correcto. Inténtalo de nuevo	0102.mp3	Error reconocido
5	Esa combinación no existe. Prueba otra vez	0103.mp3	Error reconocido

Tabla 8

Validación de combinaciones inválidas y respuesta del sistema

8.2. Cumplimiento de normativas de accesibilidad y seguridad

Durante el desarrollo de los recursos didácticos, se evaluó el cumplimiento con las normativas nacionales e internacionales pertinentes, asegurando su adecuación para ser utilizado por parte de personas con deficiencia visual. Esta verificación fue parte del proceso de validación técnica, ergonómica y pedagógica, y se detalla a continuación:

Primer Recurso Didáctico: Alfabeto 3D con Braille y NFC

Este recurso educativo fue analizado en relación con las siguientes normativas:

Normativa	Descripción	Aplicabilidad
ISO 9999:2022	Clasificación de productos de asistencia para personas con discapacidad.	Recurso de aprendizaje accesible, incluido en productos de asistencia.
NTE INEN (2016) ISO 8124-1:2016	Seguridad de juguetes. Aspectos mecánicos y físicos: bordes, estabilidad, dimensiones.	Manipulable por niños, asegura que no existan bordes filosos ni piezas peligrosas.
NTE INEN (2016) ISO 8124-2:2016	Seguridad de juguetes. Inflamabilidad.	Garantiza que los materiales como el PLA no representen un riesgo en caso de incendio.
NTE INEN (2016) ISO 8124-3:2016	Seguridad de juguetes. Migración de elementos químicos.	Requiere que materiales plásticos y etiquetas NFC no liberen sustancias tóxicas al contacto.
NTE INEN-ISO/IEC 40500	Nivel mínimo requerido: AA.	Se comprobó que el recurso digital asociado al dispositivo cumple con los criterios de accesibilidad de nivel AA, como contraste de color y etiquetas adecuadas.
UNE-EN 301549:2022 (2022)	Requisitos de accesibilidad para productos y servicios TIC.	Regula accesibilidad de sitios web, aplicaciones y documentación electrónica.
Ley Orgánica de Discapacidades (Ecuador)	Derecho al acceso a tecnologías adaptadas y accesibles.	Obliga a garantizar accesibilidad digital en recursos dirigidos a personas con discapacidad.

Tabla 9

Normativas aplicadas al Dispositivo 1: Alfabeto 3D con Braille y NFC

Segundo Recurso Didáctico: Prototipo electrónico de 6 puntos Braille

Normativa	Descripción	Aplicabilidad
ISO 9999:2022	Clasificación de productos de asistencia para personas con discapacidad.	Producto de apoyo para aprendizaje inclusivo del sistema Braille.
NTE INEN (2016) ISO 8124-1:2016	Seguridad de juguetes. Aspectos mecánicos y físicos.	Carcasa, botones y estructura deben cumplir con esta norma.
NTE INEN (2016) ISO 8124-2:2016	Seguridad de juguetes. Inflamabilidad.	El material de la carcasa no debe ser inflamable.
NTE INEN (2016) ISO 8124-3:2016	Seguridad de juguetes. Migración de elementos químicos.	Materiales en contacto con el usuario deben ser seguros.
IEC 62368-1:2020	Seguridad de equipos eléctricos y electrónicos de audio, video y TIC.	Regula seguridad eléctrica, sobrecalentamiento y aislamiento del dispositivo electrónico.
Ley Orgánica de Discapacidades (Ecuador)	Derecho al acceso a productos y tecnologías adaptadas.	Sustenta la obligación de diseñar productos accesibles para personas con discapacidad.

Tabla 10

Normativas aplicadas al Dispositivo 2: Prototipo electrónico de 6 puntos Braille

8.3. Evaluación Pedagógica según el Ciclo de Kolb

Se diseñó una encuesta con base en el modelo de aprendizaje experiencial de Kolb, organizada en cuatro fases principalmente: experiencia concreta, observación reflexiva, conceptualización abstracta y experimentación activa. Cada ítem fue evaluado por criterios de suficiencia, coherencia, relevancia y claridad, en una escala del 1 al 4, el cual 1 (No cumple con el criterio) y el 4 (Alto nivel) por dos docentes expertas en educación especial y Psicóloga-Experta en inclusión.

1. Experiencia Concreta
(Recurso 1: Alfabeto 3D con Braille y NFC)

ITEM	SUFICIE NCIA	COHERENC IA	RELEVAN CIA	CLARIDA D	OBSERVACIONES
1.1 El diseño 3D del alfabeto en Braille permite una exploración táctil efectiva.					
1.2 La altura y relieve de los puntos Braille son adecuados para la lectura táctil.					
1.3 La integración de etiquetas NFC mejora la experiencia multisensorial.					
1.4 La interacción táctil con el alfabeto favorece la familiarización del estudiante.					

2. Observación Reflexiva
(Vinculación del recurso con la reflexión y análisis sensorial)

ITEM	SUFICIE NCIA	COHERENC IA	RELEVAN CIA	CLARIDA D	OBSERVACIONES
2.1 El contenido asociado a las etiquetas NFC estimula la reflexión sobre la letra aprendida.					
2.2 La retroalimentación auditiva permite al estudiante identificar errores o aciertos.					
2.3 El recurso permite identificar patrones sensoriales útiles para el aprendizaje.					

3. Conceptualización Abstracta
(Recurso 2: Prototipo electrónico de 6 puntos Braille)

ITEM	SUFICIE NCIA	COHERENC IA	RELEVAN CIA	CLARIDA D	OBSERVACIONES
3.1 El sistema de pulsadores representa adecuadamente la estructura del cajetín Braille					
3.2 La lógica de funcionamiento estimula el pensamiento simbólico.					
3.3 Se promueve la internalización de combinaciones Braille.					

Figura 31

Evaluación Pedagógica

4. Experimentación Activa
(Aplicación de lo aprendido en actividades prácticas)

ITEM	SUFICIE NCIA	COHERENC IA	RELEVAN CIA	CLARIDA D	OBSERVACIONES
4.1 El estudiante puede aplicar lo aprendido activando combinaciones con botones.					
4.2 La retroalimentación auditiva inmediata refuerza la autoevaluación.					
4.3 El diseño permite repetir ejercicios y mejorar progresivamente.					

Valoración Global del Kit

Item	Escala (1 a 4)	Observaciones
El kit tiene un diseño pedagógico coherente con el modelo de Kolb.		
El uso de estímulos multisensoriales es adecuado para prelectores en Braille.		
La propuesta promueve la inclusión y autonomía del usuario.		
El kit tiene potencial de ser implementado en contextos educativos reales.		

Preguntas Adicionales

¿El diseño del kit facilita la participación de los niños con diferentes estilos de aprendizaje (sensorial, kinestésico, auditivo)?

¿Considera que la secuencia de actividades del kit permite una progresión lógica en el desarrollo de habilidades pre-Braille?

¿Cómo valora la compatibilidad del kit con estrategias pedagógicas individualizadas o personalizadas?

¿Considera que el kit puede integrarse fácilmente en el currículo o planificación de aulas inclusivas?

¿Existen elementos del kit que puedan representar barreras para su uso independiente por parte del niño o su familia?

¿Percibe que el diseño del kit genera una experiencia lúdica y motivadora para el niño?

¿Qué sugerencias haría para mejorar el componente pedagógico del kit?

Figura 32

Evaluación Pedagógica

8.3.1. Resultados por fase del ciclo de Kolb

Ítem	Criterio	Experto 1	Experto 2	Promedio
1.1	Suficiencia	4	4	4.0
	Coherencia	4	4	4.0
	Relevancia	4	4	4.0
	Claridad	4	4	4.0
1.2	Suficiencia	4	4	4.0
	Coherencia	4	4	4.0
	Relevancia	4	4	4.0
	Claridad	4	4	4.0
1.3	Suficiencia	4	4	4.0
	Coherencia	4	4	4.0
	Relevancia	4	4	4.0
	Claridad	4	4	4.0
1.4	Suficiencia	4	4	4.0
	Coherencia	4	4	4.0
	Relevancia	4	4	4.0
	Claridad	4	4	4.0
Promedio Global de la Fase				4.0

Tabla 11

Evaluación Pedagógica – Fase 1: Experiencia Concreta

En la experiencia concreta se evaluó el primer recurso, obteniendo una valoración máxima de 4.0, reflejando que fue valorado altamente para la exploración táctil y multisensorial para el aprendizaje.

Ítem	Criterio	Experto 1	Experto 2	Promedio
2.1	Suficiencia	4	4	4.0
	Coherencia	4	4	4.0
	Relevancia	4	4	4.0
	Claridad	4	4	4.0
2.2	Suficiencia	4	4	4.0
	Coherencia	4	4	4.0
	Relevancia	4	4	4.0
	Claridad	4	4	4.0
2.3	Suficiencia	4	4	4.0
	Coherencia	4	4	4.0
	Relevancia	4	4	4.0
	Claridad	4	4	4.0
Promedio Global de la Fase				4.0

Tabla 12

Evaluación Pedagógica – Fase 2: Observación Reflexiva

En la Observación Reflexiva nos enfocamos en la vinculación del recurso con la reflexión y análisis sensorial en el cual ambos expertos coinciden en que la retroalimentación auditiva y el contenido digital NFC permiten estimular la reflexión y comprensión del aprendizaje.

Ítem	Criterio	Experto 1	Experto 2	Promedio
3.1	Suficiencia	4	3	3.5
	Coherencia	4	3	3.5
	Relevancia	4	3	3.5
	Claridad	4	3	3.5
3.2	Suficiencia	4	3	3.5
	Coherencia	4	3	3.5
	Relevancia	4	3	3.5
	Claridad	4	3	3.5
3.3	Suficiencia	4	3	3.5
	Coherencia	4	4	4.0
	Relevancia	4	4	4.0
	Claridad	4	4	4.0
Promedio Global de la Fase				3.63

Tabla 13

Evaluación Pedagógica – Fase 3: Conceptualización Abstracta

En la conceptualización Abstracta se evaluó el segundo recurso, en el cual igual se obtuvo una valoración alta sin embargo se identificó una leve diferencia entre expertos, particularmente en los primeros dos ítems, por lo cual esto sugiere una oportunidad de mejora en la interfaz de los pulsadores.

Ítem	Criterio	Experto 1	Experto 2	Promedio
4.1	Suficiencia	4	4	4.0
	Coherencia	4	4	4.0
	Relevancia	4	4	4.0
	Claridad	4	4	4.0
4.2	Suficiencia	4	4	4.0
	Coherencia	4	4	4.0
	Relevancia	4	4	4.0
	Claridad	4	4	4.0
4.3	Suficiencia	4	4	4.0
	Coherencia	4	4	4.0
	Relevancia	4	4	4.0
	Claridad	4	4	4.0
Promedio Global de la Fase				4.0

Tabla 14

Evaluación Pedagógica – Fase 4: Experimentación Activa

En la experimentación activa en el cual se evaluó la aplicación de lo aprendido en actividades prácticas, se verificó que el recurso permite una repetición activa del aprendizaje permitiendo la autonomía del aprendizaje.

Ítem	Experto 1	Experto 2	Promedio
Diseño pedagógico coherente con el modelo de Kolb	4	4	4.0
Uso de estímulos multisensoriales adecuados	4	4	4.0
Promueve la inclusión y autonomía del usuario	4	4	4.0
Potencial de implementación en contextos educativos reales	4	4	4.0

Tabla 15

Valoración Global del Kit Multisensorial por Expertos

La valoración global del kit recibió una aceptación por ambos expertos lo cual respalda la

adecuación del kit al enfoque educativo inclusivo y su aplicación práctica.

Ambos expertos coincidieron que el kit es funcional y útil para el primer acercamiento al aprendizaje del sistema Braille, ya que se apega a una estrategia lúdica de juego y trabajo. No obstante, se identificaron aspectos por mejorar, como la dificultad de compatibilidad con las tarjetas NFC en adultos y la limitada autonomía en niños. Por ello, se recomienda la incorporación de un lector NFC externo que no dependa de un dispositivo móvil, con el fin de fomentar una mayor autonomía infantil.

8.4. Evaluación de usuarios no videntes

8.4.1. Evaluación SUS

Para evaluar la facilidad de uso del kit y sus componentes digitales o electrónicos, se aplicó un cuestionario adaptado del System Usability Scale (SUS) a cuatro adultos con deficiencia visual. Este instrumento consta de 10 ítems evaluados mediante una escala Likert de 5 puntos (1 = Totalmente en desacuerdo; 5 = Totalmente de acuerdo).

CUESTIONARIO SUS (System Usability Scale)

No.	Pregunta	Escala				
		Totalmente en desacuerdo				Totalmente de acuerdo
1	Creo que me sentiría cómodo usando frecuentemente este kit multisensorial.	1	2	3	4	5
2	Considero que el kit es innecesariamente complejo o confuso para un niño.	1	2	3	4	5
3	Me pareció fácil utilizar todas las funciones del kit sin necesidad de ayuda especializada.	1	2	3	4	5
4	Pienso que se requiere asistencia técnica para usar correctamente el kit.	1	2	3	4	5
5	Las funciones táctiles y sonoras del kit están bien integradas.	1	2	3	4	5
6	El kit presenta inconsistencias que podrían confundir al usuario infantil.	1	2	3	4	5
7	Me imagino que los niños podrían aprender a usar este kit con rapidez.	1	2	3	4	5
8	Considero que el uso prolongado del kit podría resultar monótono.	1	2	3	4	5
9	Me sentí seguro y confiado en que el kit funcionaría como se espera.	1	2	3	4	5
10	Me tomaría mucho tiempo aprender a utilizar correctamente el kit.	1	2	3	4	5

Figura 33

Evaluación SUS

Fuente: Autor

A continuación, se presenta la tabla con los resultados obtenidos por los usuarios antes de realizar el cálculo respectivo:

Ítem	Usuario 1	Usuario 2	Usuario 3	Usuario 4
1	5	5	3	5
2	1	1	1	1
3	5	5	5	5
4	1	2	1	1
5	5	5	5	5
6	1	1	4	1
7	5	5	4	5
8	1	1	2	1
9	5	5	5	5
10	1	1	2	1

Tabla 16

Respuestas del cuestionario SUS por cada usuario

Los resultados obtenidos se calcularon siguiendo el método establecido del System Usability Scale (SUS). En este procedimiento:

- A los ítems 1, 3, 5, 7 y 9 (ítems impares), se les restó 1 a la puntuación otorgada por el usuario.
- A los ítems 2, 4, 6, 8 y 10 (ítems pares), se le restó su valor al número 5 con respecto a la puntuación otorgada por el usuario.
- Luego, se sumaron los resultados obtenidos por cada usuario individualmente.
- Finalmente, la suma total de cada usuario fue multiplicada por 2.5 para escalar la puntuación a un rango de 0 a 100.

Este procedimiento permitió determinar el nivel de usabilidad percibido del kit de manera cuantitativa.

Ítem	Usuario 1	Usuario 2	Usuario 3	Usuario 4
1	4	4	2	4
2	4	4	4	4
3	4	4	4	4
4	4	3	4	4
5	4	4	4	4
6	4	4	1	4
7	4	4	3	4
8	4	4	3	4
9	4	4	4	4
10	4	4	3	4
Suma	40	39	32	40
SUS ($\times 2.5$)	100.0	97.5	80.0	100.0

Tabla 17

Cálculo ajustado por ítem según el método SUS

Según lo expuesto por Del Prado (2024), el puntaje total obtenido mediante el método SUS se ubica en una escala de 0 a 100:

- 0-26: Usabilidad prácticamente inexistente o no concebible.
- 27-50: Nivel de usabilidad bajo o deficiente.
- 51-70: Usabilidad aceptable, cumple mínimamente con lo esperado.
- 71-80: Se considera una buena experiencia de uso.
- 81-90: Usabilidad destacada, el sistema resulta muy eficaz para el usuario.
- 91-100: Representa una experiencia de usabilidad ideal, difícil de mejorar.

Esta escala permite clasificar el nivel de usabilidad de un sistema de la siguiente manera:

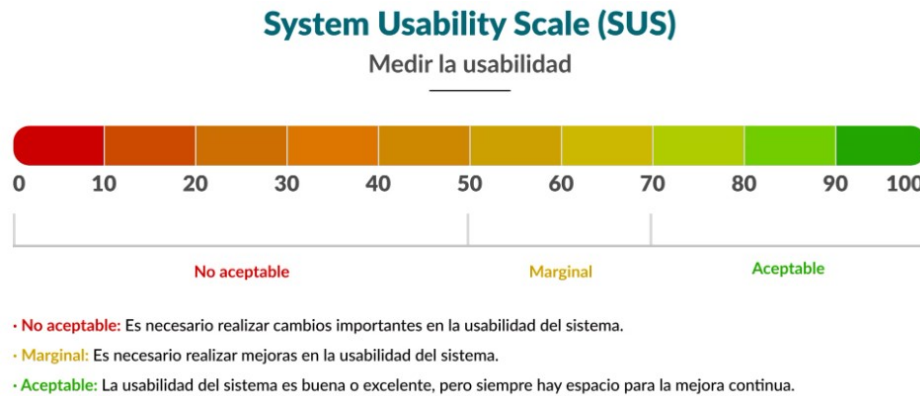


Figura 34

Medición de usabilidad

Fuente: Del Prado (2024).

El análisis muestra que los participantes valoraron la herramienta con un puntaje muy alto en términos de usabilidad, alcanzando una media general de 94.4 sobre 100, a base de la interpretación de la usabilidad el kit se considera dentro del rango de “ Aceptable ”.

Tres de los cuatro usuarios otorgaron puntajes cercanos o iguales al máximo. El usuario 3 presentó una leve disminución en la puntuación total (80), posiblemente influido por su percepción de complejidad en algunos ítems. Aun así, el valor se mantiene dentro del rango de aceptación positiva.

8.4.2. Evaluación QUEST

Para evaluar el nivel de satisfacción del usuario con respecto a los recursos se realiza la evaluación QUEST la cual fue adaptada y aplicada a cuatro adultos no videntes para evaluar su grado de satisfacción respecto al dispositivo y los servicios asociados (comprensión, soporte, usabilidad).

Se incluyeron ítems sobre dimensiones físicas, facilidad de manipulación, calidad sonora y efectividad. Cada ítem fue calificado en una escala de 1 (muy insatisfecho) a 5 (muy satisfecho).

CUESTIONARIO QUEST 2.0 - Evaluación de Satisfacción con la Tecnología Asistiva

APARATO

Criterio	Calificación
1. ¿Qué tan satisfecho(a) está con las dimensiones y relieve de las piezas táctiles?	1 2 3 4 5
2. ¿Qué tan satisfecho(a) está con el peso y la estabilidad del dispositivo?	1 2 3 4 5
3. ¿Qué tan satisfecho(a) está con la facilidad para manipular las piezas sin dificultad?	1 2 3 4 5
4. ¿Qué tan satisfecho(a) está con la seguridad del kit durante su uso?	1 2 3 4 5
5. ¿Qué tan satisfecho(a) está con la calidad del sonido y el volumen?	1 2 3 4 5
6. ¿Qué tan satisfecho(a) está con la facilidad de uso general del kit?	1 2 3 4 5
7. ¿Qué tan satisfecho(a) está con la integración de los sentidos en el diseño del kit?	1 2 3 4 5
8. ¿Qué tan satisfecho(a) está con la efectividad del kit para apoyar el aprendizaje pre-Braille?	1 2 3 4 5

Servicios

Criterio	Calificación
1. ¿Qué tan satisfecho(a) está con el soporte recibido para entender el uso del kit?	1 2 3 4 5
2. ¿Qué tan satisfecho(a) está con la legibilidad del Braille incorporado?	1 2 3 4 5
3. ¿Qué tan satisfecho(a) está con la diferenciación entre letras y Braille?	1 2 3 4 5

Preguntas Adicionales

Criterio	Calificación
1. ¿Cuál es su nivel de satisfacción general con el kit?	1 2 3 4 5
2. ¿Cuál es su nivel de satisfacción general con los servicios recibidos?	1 2 3 4 5
3. ¿Qué tan satisfecho(a) está con la diferenciación entre letras y Braille?	1 2 3 4 5

Figura 35

La siguiente tabla contiene los resultados obtenidos en las encuestas previo al cálculo respectivo:

Aparato					Servicios				
Ítem	Usuario 1	Usuario 2	Usuario 3	Usuario 4	Ítem	Usuario 1	Usuario 2	Usuario 3	Usuario 4
1	5	5	5	5	1	5	5	5	5
2	5	5	5	5	2	5	5	5	5
3	5	5	5	5	3	5	5	5	5
4	5	5	5	5					
5	5	5	4	5					
6	5	5	4	5					
7	5	5	5	5					
8	5	5	5	5					
Suma	40	40	38	40	Suma	15	15	15	15

Tabla 18

Resultados del Cuestionario QUEST 2.0 - Evaluación de Satisfacción

Se realizaron las sumas totales tanto del Aparato como de Servicios, luego se realizó el promedio respectivo teniendo en cuenta que el total de preguntad realizadas fueron 11 y se procedió a realizar un promedio general de los valores obtenidos de los cuatro usuarios.

Usuario	Dispositivo	Servicios	Promedio QUEST
Usuario 1	40	15	5
Usuario 2	40	15	5
Usuario 3	38	15	4,82
Usuario 4	40	15	5
Promedio General			4,95

Tabla 19

Resultados de la evaluación QUEST por usuario

Los resultados muestran un promedio general de satisfacción de 4.95/5, con tres de los cuatro participantes alcanzando la puntuación máxima. El Usuario 3 registró una puntuación ligeramente menor (4.82).

Además, se realizaron preguntas complementarias sobre el nivel de satisfacción general con el kit y los servicios recibidos, los cuales también obtuvieron una alta aceptación por parte de los cuatro usuarios. Se les consultó cuáles consideran que son los aspectos clave a evaluar en

un kit de este tipo. Los participantes destacaron los siguientes elementos: relieve de las piezas táctiles, legibilidad del Braille, facilidad de manipulación, dimensiones, sincronización entre sonido y tacto, y calidad del sonido.

9. Cronograma

Objetivo	Actividad	Desde	Hasta	Horas
1	Redacción del Anteproyecto y Revisión documental	17/03/2025	31/03/2025	32
	Revisión de normativas y requisitos técnicos	15/04/2025	23/04/2025	28
2	Consulta y definición final de componentes	24/04/2025	26/04/2025	6
	Compra de materiales	28/04/2025	28/04/2025	3
	Diseño de la PCB (esquemático y ruteo)	01/05/2025	07/05/2025	21
	Diseño 3D de piezas del kit	08/05/2025	13/05/2025	20
	Fabricación de la PCB	08/05/2025	08/05/2025	4
	Impresión 3D y post-procesado	15/05/2025	16/05/2025	6
	Integración electrónica	17/05/2025	13/06/2025	42
	Programación del microcontrolador	14/06/2025	16/06/2025	9
	Pruebas funcionales y validación técnica	19/06/2025	21/06/2025	9
3	Análisis documental normativo y metodológico	02/07/2025	06/07/2025	24
	Comparativa funcional con kits existentes	05/07/2025	12/07/2025	29
	Consultas a expertos	06/07/2025	10/07/2025	7

Tabla 20

Cronograma de actividades del proyecto

10. Presupuesto

10.1. Materiales

Componente (preliminar)	Cantidad	Valor unitario (USD)	Valor total (USD)
ESP32	1	9.42	9.42
Tarjetas NFC	27	0.20	5.40
Fuente de alimentación de 5V 2A	1	4.10	4.10
Módulo DFPlayer Mini MP3	1	3.25	3.25
Módulo mini amplificador de audio PAM8403	1	2.20	2.20
Módulo regulador de voltaje Step Down LM2596	1	2.00	2.00
Peineta header hembra simple(1x40)	2	0.44	0.88
Conector Molex XH2.54 (6 pines)	3	0.34	1.02
Pulsantes de enclavamiento	6	0.75	4.50
Conector Jack	1	0.40	0.40
Parlante 4Ω y 3W.	1	2.65	2.65
Impresión PCB con Antisolder	2	26.00	52.00
Impresión 3D: Carcasa	1	17.00	17.00
Impresión 3D: Alfabeto	1		
Total estimado			104.82

Tabla 21

Listado preliminar de componentes, cantidades y costos sujetos a modificación

10.2. Talento Humano

Cargo	Nombre	Costo/hora (USD)	Horas Totales	Costo Total (USD)
Autor 1	Ana Lozano	5.00	240	1200.00
Socio	Paola Ingavélez	20.00	40	800.00
Total de salario				2000.00

Tabla 22

Detalle de costos de personal

11. Conclusiones

El kit multisensorial pre-Braille, compuesto por dos recursos didácticos, demostró ser una herramienta pedagógica y funcionalmente útil para usuarios adultos con deficiencia visual. La experiencia de uso evidenció beneficios tanto en el reconocimiento táctil como en la retroalimentación auditiva, facilitando el proceso de aprendizaje autónomo.

La retroalimentación de parte de los expertos pedagógicos y de las personas adultas usuarias permitió identificar oportunidades de mejora que abren el camino a futuras optimizaciones del kit. Esta evaluación cualitativa refuerza la pertinencia del recurso en contextos educativos reales.

La implementación del kit en un consultorio privado lugar donde surgió el primer prototipo y donde actualmente se implementará el segundo, el cual representa un espacio idóneo para evaluar su impacto directo en el proceso de enseñanza-aprendizaje y adecuar el recurso a los requerimientos específicos del entorno.

La incorporación de tecnologías accesibles como la impresión 3D, las tarjetas NFC y los sistemas de retroalimentación auditiva constituyen una base sólida para el desarrollo de nuevos recursos inclusivos, lo que permitiría ampliar el alcance del kit hacia contenidos como números, signos generadores y figuras geométricas, lo cual favorecería su uso tanto en personas con pérdida visual reciente como en niños menores de edad.

La evaluación del kit con normativas nacionales e internacionales respalda su potencial de ser considerado como una herramienta útil dentro de la educación inclusiva. Su carácter replicable lo convierte en una herramienta viable para su distribución a nivel institucional y en programas sociales destinados al aprendizaje braille

12. Recomendaciones

Se propone ampliar el proceso de validación del kit con una muestra más diversa y amplia de usuarios para reforzar las pruebas empíricas de su eficacia y adaptabilidad. Esta ampliación permitirá introducir mejoras técnicas y pedagógicas basadas en la retroalimentación recibida. Entre los aspectos a considerar se incluyen: Ampliación de los contenidos, incluyendo números, caracteres, figuras geométricas y el signo generador; incorporación de un lector NFC independiente que ofrezca mayor autonomía a los menores y permita utilizar el kit sin conexión a internet; superación de las limitaciones actuales de compatibilidad con dispositivos móviles; y adaptación del kit para facilitar el aprendizaje en adultos con pérdida de visión reciente.

Promover asociaciones con instituciones educativas y centros de rehabilitación para facilitar el uso del kit en entornos educativos formales y no formales. Este recurso puede proporcionar apoyo educativo al satisfacer la necesidad de materiales didácticos duraderos y accesibles, especialmente en contextos en los que los materiales tradicionales como los de cartón tienden a deteriorarse rápidamente debido al uso frecuente por parte de los menores.

13. Trabajo futuro

Para quienes deseen trabajar en el desarrollo o la mejora del paquete de aprendizaje pre-Braille centrado en los niños, se sugieren varias recomendaciones importantes. Es importante comprender las necesidades tanto de los educadores como de los usuarios, incluidos los padres o familiares que también necesitan aprender Braille. Se sugiere explorar nuevas tecnologías que permitan el desarrollo de tecnología de apoyo para el aprendizaje del Braille. Además, se recomienda desarrollar una tercera herramienta que cubra varias fases de aprendizaje e integre enfoques como el ciclo de Kolb o el aprendizaje dual. Es importante colaborar con el ámbito pedagógico para realizar pruebas con menores y lograr una validación más sólida de los recursos didácticos. También se pueden desarrollar herramientas complementarias, como tableros tipo `Ôtextit{pop-it}`, que faciliten la formación de palabras sencillas de forma lúdica y didáctica. También se propone extender el abordaje a adultos con pérdida de visión reciente, promoviendo el uso del Braille como medio de autonomía y reduciendo la dependencia exclusiva de la tecnología. Finalmente, con base en los resultados de las pruebas, se deben realizar adaptaciones ergonómicas, considerar las normativas vigentes y trabajar continuamente con expertos, integrando retroalimentación tanto pedagógica como de los propios usuarios.

Referencias

- Accessible Web. (2024). *Web accessibility color contrast checker - conform to wcag*. Descargado de <https://accessibleweb.com/color-contrast-checker/>
- by Harpo, M. (2024, 20 de May). *Mountbatten brailier – the braille and early computer literacy solution*. Descargado de <https://mountbattenbrailier.com/mountbatten/>
- CAST. (2024). *Universal design for learning guidelines version 3.0*. Descargado de <https://udlguidelines.cast.org>
- Comisión Braille Española. (2024, february). *Documento técnico b 1: Parámetros dimensionales del braille (versión 2)*. Descargado de <https://www.once.es/servicios-sociales/braille/documentos-tecnicos/documentos-tecnicos-relacionados-con-el-braille/documentos/b1-parametros-dimensionales-del-braille-2/@download/file/B1%20Par%C3%A1metros%20dimensionales%20del%20braille%20V1.pdf> (Última actualización: 9 de agosto de 2024. Coordinación: Francisco Javier Baeza García, Francisco Javier Martínez Calvo)
- CONADIS. (2024). *Estadísticas de discapacidad-conadis*. Descargado de <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-de-discapacidad/>
- Coolors. (2025). *Color contrast checker - coolors*. Descargado de <https://coolors.co/contrast-checker/000000-f6a055> (Consultado el 8 de julio de 2025)
- Ctic, F. (2017). *Taw informe resumen*. Fundación CTIC. Descargado de <https://www.tawdis.net/resumen>
- Del Prado, J. A. (2024). *Medir con el sistema de escala de usabilidad (sus)*. Descargado de <https://www.uxables.com/investigacion-ux/medir-con-el-sistema-de-escala-de-usabilidad-sus/>
- El Código Braille. (2025). *El código braille*. <https://instructorbraille.blogspot.com/p/el-codigo-braille.html>. (Accedido el 8 de junio de 2025)
- El poder del vídeo en el ciclo de aprendizaje de kolb*. (2023). Descargado de <https://www.coding.com/healthcare/blog/es/ciclo-aprendizaje-kolb-videos> (Recuperado el 15 de julio de 2025, de <https://www.coding.com/healthcare/blog/es/ciclo-aprendizaje-kolb-videos>)
- Everyday Sight. (2019, 10 de February). *Beginner's guide to braille*. Descargado de <https://www.everydaysight.com/beginners-guide-to-braille/>
- Fan, Y., Chong, D. K., y Li, Y. (2024). Beyond play: A comparative study of multi-sensory and traditional toys in child education. *Frontiers in Education*. Descargado de <https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1182660> doi: 10.3389/feduc.2024.1182660

- Feifeiya. (2025). *38 piezas Braille Alfabeto y Números Azulejos de Madera con Puntuación Alfabeto y Números, Herramienta Educativa para Ciegos Discapacitados Visuales, Ayuda de Enseñanza para Regalos*. <https://www.amazon.com/dp/B0DSFKLRF5>.
- Garza, F. D. V. (2020). *Manual básico del sistema braille*. Escuela para Niños Ciegos A.C. (Manual ENC al 15 de septiembre de 2020)
- Hilditch, J. (2021). *Pre-braille implementation into early education: Tactile activities to introduce braille concepts to kindergartners* (Master of Design in Inclusive Design). OCAD University, Toronto, Ontario, Canada. (Tesis de maestría)
- IEC 62368-1:2023. (2023). *IEC 62368-1:2023*. <https://webstore.iec.ch/en/publication/69308>.
- INEC. (2022, Diciembre). *Censo ecuador*. Descargado de https://www.censoecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2024/12/Dificultades_Funcionales_CPV_Dic2024.pdf
- INEN. (2016, 27 de December). *Rte 089 seguridad de juguetes*. Descargado de <https://inen-ecuador.blogspot.com/2016/12/rte-089-seguridad-de-juguetes.html>
- International Organization for Standardization. (2022). *Iso 9999:2022 — assistive products for persons with disability — classification and terminology (7th ed.)*. ISO. Descargado de <https://www.iso.org/standard/72464.html>
- ISO/IEC 30071-1:2019. (2019). *ISO/IEC 30071-1:2019*. <https://www.iso.org/standard/70913.html>.
- Mora, S. L. (2025). *Accesibilidad web: Ecuador*. Descargado de <https://accesibilidadweb.dlsi.ua.es/?menu=ecuador>
- Nevada Blind Children's Foundation. (2023, 13 de January). *Encourage pre-braille skills in your student!* Descargado de <https://nvblindchildren.org/encourage-pre-braille-skills-in-your-student/>
- NFC Tools. (2025). *Nfc toolsapps de android en google play*. Descargado de https://play.google.com/store/apps/details?id=com.wakdev.wdnfc&hl=es_419
- OMS. (2020). Informe mundial sobre la visión. *Organización Mundial de la Salud*. Descargado de <https://iris.who.int/handle/10665/331423>
- Orbit Research. (2019). *Orbit reader 20 - braille display, book reader and note-taker. includes an sd card, charger and a usb cable*. Descargado de <http://www.orbitresearch.com/product/orbit-reader-20/>
- Organización de las Naciones Unidas. (2006). *Convención sobre los derechos de las personas con discapacidad*. Descargado de <https://www.un.org/esa/socdev/enable/documents/tccconvs.pdf>

- Perkins Brailier. (2025). *Perkins brailier*. <https://brailier.perkins.org/pages/perkins-brailier>. (Accedido el 8 de junio de 2025)
- Perkins School for the Blind. (2023, 1 de June). *Smart brailier – perkins school for the blind*. Descargado de <https://www.perkins.org/perkins-brailier/smart-brailier/>
- Piaget, J. (2014, Mayo). *Encyclopedia of educational theory and philosophy, volume 2*. Descargado de https://www.researchgate.net/publication/282705581_Piaget_Jean
- PlanToys USA. (2022). *Braille alphabet a-z*. Descargado de <https://www.plantoys.com/products/braille-alphabet-a-z> (Accedido en 2024)
- Praveen, A. V. (2021, 15 de November). *What are multisensory teaching techniques?* Learning Center for Children Who Learn Differently, Their Teachers and Parents in Dubai, Middle East. Descargado de <https://www.lexiconreadingcenter.org/what-is-multisensory-teaching-techniques/>
- Taptilo. (2018). *Taptilo*. Descargado de <https://www.taptilo.com/taptilo>
- The International Agency for the Prevention of Blindness. (2024, 23 de July). *Child eye health - the international agency for the prevention of blindness*. Descargado de <https://www.iapb.org/learn/vision-atlas/magnitude-and-projections/child-eye-health/>
- The LEGO Group. (2024). *The lego® group*. Descargado de <https://www.lego.com/es-es/theme/braille-bricks/about>
- The Poona School and Home for the Blind. (2024, 15 de June). *Teaching strategies for visually impaired students*. Descargado de <https://www.puneblindschool.org/blogs/teaching-strategies-for-visually-impaired-students>
- UNE-EN 301549:2022. (2022). *UNE-EN 301549:2022*. <https://administracionelectronica.gob.es/dam/jcr:a0f1a17f-84a9-485b-80be-255e8aa9f24c/METODOLOGIA-PARA-EL-SEGUIMIENTO-SIMPLIFICADO-UNE-EN-3015492019-acc.pdf>.
- UNESCO. (2025). *El derecho a la educación*. Descargado de <https://www.unesco.org/es/right-education> (Consultado el 13 de febrero de 2025)
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes* (M. Cole, V. John-Steiner, S. Scribner, y E. Soubberman, Eds.). Cambridge, Massachusetts and London, England: Harvard University Press. Descargado de <https://www.jstor.org/stable/j.ctvjf9vz4>
- WAVE Report of Abecedario Braille. (2025). *Wave report of abecedario braille*. Descargado de <https://wave.webaim.org/report#/https://gleaming-lamington-4d2d70.netlify.app/?letra=a>

WebAIM. (2009). *Contrast checker*. (<https://webaim.org/resources/contrastchecker/>)

World Wide Web Consortium (W3C). (2024). *Web content accessibility guidelines (wcag) 2.2*.
Descargado de <https://www.w3.org/TR/WCAG22/>

Łuszczkiewicz, J. (2024, September 19). *¿qué es el aprendizaje multisensorial y cuáles son sus beneficios para la educación?* Descargado de <https://livekid.com/mx/blog/aprendizaje-multisensorial-y-sus-beneficios/> (LiveKid)

ANEXOS

Anexo A: Matriz de Consistencia Lógica

Tabla 23

Matriz de consistencia.

MATRIZ DE CONSISTENCIA				
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	MARCO TEÓRICO
¿Cómo diseñar y desarrollar un kit infantil multisensorial para el aprendizaje pre-Braille?	Diseñar y desarrollar un kit infantil multisensorial para el aprendizaje pre-Braille	El diseño y desarrollo de un kit infantil multisensorial para el aprendizaje pre-Braille mejorará la adquisición de habilidades pre-Braille en niños con discapacidad visual, promoviendo una enseñanza más inclusiva y efectiva.	-VI: Diseño. -VD: Tiempo de operación.	Principios del desarrollo infantil y la educación especial. Evaluación de herramientas educativas multisensoriales.
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES	MARCO TEÓRICO
¿Cuál es el estado del arte sobre el aprendizaje pre-Braille y metodologías multisensoriales, y qué estrategias efectivas existen para la enseñanza de niños con discapacidad visual?	Investigar el estado del arte sobre el aprendizaje pre-Braille y metodologías multisensoriales, identificando estrategias efectivas para la enseñanza de niños con discapacidad visual.	La investigación sobre el estado del arte del aprendizaje pre-Braille y las metodologías multisensoriales permitirá identificar estrategias efectivas para la enseñanza de niños con discapacidad visual, optimizando el proceso de aprendizaje.	-VI: Diseño. -VD: Tiempo de operación.	Historia y evolución del aprendizaje pre-Braille. Principales metodologías multisensoriales en educación.
¿Cómo diseñar y desarrollar un prototipo de kit multisensorial que integre elementos táctiles y auditivos?	Diseñar y desarrollar un prototipo de kit multisensorial, integrando el uso de elementos táctiles y auditivos.	El diseño y desarrollo de un prototipo de kit multisensorial, que integra elementos táctiles y auditivos, facilitará el aprendizaje de las habilidades pre-Braille en niños con discapacidad visual.	-VI: Diseño. -VD: Tiempo de operación.	Diseño y ergonomía de materiales táctiles para la educación Tecnologías asistivas y accesibilidad en el aprendizaje.
¿En qué medida el prototipo del kit multisensorial cumple con normativas de accesibilidad y tecnologías similares existentes, verificando su adecuación a los estándares pedagógicos, ergonómicos y de inclusión?	Evaluar el prototipo del kit multisensorial mediante un análisis comparativo con normativas y estándares pedagógicos, ergonómicos y de inclusión.	La evaluación del prototipo del kit multisensorial mediante un análisis comparativo con normativas y estándares pedagógicos, ergonómicos y de inclusión demostrará su efectividad y adecuación para el aprendizaje de niños con discapacidad visual.	-VI: Diseño. -VD: Tiempo de operación.	Normativas en educación especial. Comparación con tecnologías educativas existentes.

Nota: La matriz de consistencia presentada facilita identificar la relación que existe entre las variables y los objetivos además de como se relaciona con el marco teórico referencial.

Anexo B: Materiales y componentes

Elemento	Descripción	Observaciones
PLA para impresión 3D	Filamento termoplástico utilizado para la fabricación de las letras y su respectivo relieve en Braille.	Material resistente, liviano, no tóxico.
Tarjetas NFC NTAG215	Etiquetas NFC pasivas tipo 215 para almacenamiento de URLs educativas.	Compatible con la mayoría de dispositivos móviles.
Imágenes en formato .webp	Archivos visuales de apoyo que representan cada letra.	Solo visibles para usuarios con baja visión.
Audios en formato .mp3	Archivos de audio con la descripción y pronunciación de cada letra.	Permiten reforzamiento auditivo.
Servidor Netlify	Plataforma de alojamiento de la página web educativa.	Alojamiento gratuito, accesible.
Repositorio de GitHub	Espacio en la nube para el código y estructura de la página web.	Facilita la gestión y control de versiones.
Inventor Autodesk	Software de diseño 3D utilizado para modelar las letras.	Permite precisión en dimensiones.
Aplicación NFC Tools	Aplicación móvil utilizada para programar las tarjetas NFC.	Gratuita, disponible para Android.
Herramientas de accesibilidad web (WAVE, TAW, W3C)	Plataformas online para verificar el cumplimiento de estándares de accesibilidad digital.	Validación de contraste, estructura y legibilidad.

Tabla 24

Materiales y componentes utilizados en el Dispositivo 1: Abecedario 3D con Braille y Tarjetas NFC

Elemento	Descripción	Observaciones
ESP32	Microcontrolador programable que gestiona el funcionamiento general del dispositivo.	Bajo consumo, conexión Wi-Fi y Bluetooth.
DFPlayer Mini	Módulo reproductor de audio en formato .mp3 controlado por el ESP32.	Integra amplificador y lector microSD.
PAM8403	Amplificador de audio de baja potencia.	Mejora la calidad y volumen del sonido emitido.
Pulsadores de enclavamiento	Conjunto de seis pulsantes que simulan los puntos Braille.	Permiten la configuración de combinaciones.
Parlante (4 ohmios, 3W)	Dispositivo de salida de audio.	Compatible con el DF-Player Mini y el amplificador.
PLA para impresión 3D	Material utilizado para la fabricación de la estructura y carcasa.	Resistente, liviano y no tóxico.
PCB (Circuito impreso)	Placa de circuito impreso para montaje de los componentes.	Diseño de doble capa con antisoldeado.
Protoboard	Placa de pruebas utilizada durante el prototipado.	Facilita el montaje inicial y detección de errores.

Tabla 25

Materiales y componentes electrónicos del Dispositivo 2: Prototipo electrónico de 6 puntos Braille (Parte 1)

Elemento	Descripción	Observaciones
Inventor Autodesk	Software de diseño 3D para la carcasa.	Permite precisión en dimensiones y ergonomía.
Arduino IDE	Entorno de programación del ESP32.	Compatible con múltiples plataformas.
Borneras	Conectores eléctricos para facilitar el cableado.	Mejoran la seguridad y el orden.
Conectores MOLEX y cables	Sistema de conexión rápida entre PCB y componentes externos.	Facilita el ensamblaje y mantenimiento.
Resistencias de 1 k Ω y 2 k Ω	Componentes electrónicos para el divisor de voltaje y otros circuitos auxiliares.	Garantizan niveles de tensión seguros.
Header hembra	Conector para insertar el ESP32 en la PCB.	Permite retirar o reemplazar fácilmente el microcontrolador.
MicroSD 8 GB	Tarjeta de almacenamiento para los archivos de audio.	Compatible con DF-Player Mini.
Cable multipar	Cableado interno para interconexión de los componentes.	Facilita la organización y evita interferencias.

Tabla 26

Materiales y componentes complementarios del Dispositivo 2: Prototipo electrónico de 6 puntos Braille (Parte 2)

Anexo C: Código del Segundo Recurso Didáctico

```
1 #include <HardwareSerial.h>
2 #include <DFRobotDFPlayerMini.h>
3 #include <esp_system.h>
4
5 // Prototipos
6 uint8_t leerBotones();
7 int encontrarLetra(uint8_t estado);
8
9 // Pines de botones Braille
10 const int botones[6] = { 21, 19, 18, 25, 33, 32};
11
12 // Combinaciones Braille A-N, ñ, 0-Z
13 const uint8_t braille_map[27] = {
14     0b000001, // A
15     0b000011, // B
16     0b001001, // C
17     0b011001, // D
18     0b010001, // E
19     0b001011, // F
20     0b011011, // G
21     0b010011, // H
22     0b001010, // I
23     0b011010, // J
24     0b000101, // K
25     0b000111, // L
26     0b001101, // M
27     0b011101, // N
28     0b111011, // Ñ
29     0b010101, // O
30     0b001111, // P
31     0b011111, // Q
32     0b010111, // R
33     0b001110, // S
34     0b011110, // T
35     0b100101, // U
36     0b100111, // V
```

(a) Código (a)

```
37 0b111010, // W
38 0b101101, // X
39 0b111101, // Y
40 0b111011, // Z
41 };
42
43 HardwareSerial dfSerial(2);
44 DFRobotDFPlayerMini player;
45
46 void setup() {
47     Serial.begin(115200);
48     delay(3000);
49
50     dfSerial.begin(9600, SERIAL_8N1, 16, 17);
51
52     for (int i = 0; i < 6; i++) {
53         pinMode(botones[i], INPUT_PULLUP);
54     }
55
56     if (!player.begin(dfSerial)) {
57         Serial.println("DFPlayer no detectado. Reiniciando...");
58         delay(1000);
59         ESP.restart();
60     }
61
62     player.volume(30);
63     Serial.println("Listo para leer combinaciones Braille");
64 }
65
66 void loop() {
67     Serial.println("Levanta todos los pulsantes para comenzar...");
68     while (leerBotones() != 0b111111) {
69         delay(100);
70     }
71
72     Serial.println("Todos los pulsantes levantados. Coloca la combinación...");
```

(b) Código (b)

```
74 uint8_t combinacionActual = leerBotones();
75 uint8_t combinacionAnterior = combinacionActual;
76 unsigned long tiempoUltimoCambio = millis();
77
78 while (true) {
79     combinacionActual = leerBotones();
80
81     if (combinacionActual != combinacionAnterior) {
82         tiempoUltimoCambio = millis();
83         combinacionAnterior = combinacionActual;
84     }
85
86     if (millis() - tiempoUltimoCambio >= 3000) {
87         break;
88     }
89
90     delay(100);
91 }
92
93 Serial.println("Tiempo de espera cumplido. Evaluando combinación...");
94 uint8_t estado = combinacionActual;
95
96 Serial.print("Combinación leída en decimal: ");
97 Serial.println(estado);
98 Serial.print("Combinación leída en binario: ");
99 for (int i = 5; i >= 0; i--) {
100     Serial.print((estado >> i) & 1);
101 }
102 Serial.println();
103
104 if (estado == 0b111111) {
105     Serial.println("No se colocó ninguna combinación. Reintentar...");
106     delay(500);
107     return;
108 }
109 }
```

(c) Código (c)

```
110 int letraIndex = encontrarLetra(estado);
111
112 if (letraIndex >= 0 && letraIndex <= 13) {
113     Serial.printf("Letra detectada: %c\n", 'A' + letraIndex);
114     player.play(letraIndex + 1);
115 } else if (letraIndex == 14) {
116     Serial.println("Letra detectada: Ñ");
117     player.play(15);
118 } else if (letraIndex >= 15 && letraIndex <= 26) {
119     Serial.printf("Letra detectada: %c\n", 'O' + (letraIndex - 15));
120     player.play(letraIndex + 1);
121 } else {
122     Serial.println("Combinación incorrecta.");
123     int errorSound = random(28, 33);
124     Serial.print("Reproduciendo audio de error: ");
125     Serial.println(errorSound);
126     player.play(errorSound);
127 }
128
129 while (leerBotones() != 0b111111) {
130     delay(100);
131 }
132
133 delay(500);
134 }
135
136 // --- FUNCIONES DEFINIDAS CORRECTAMENTE ---
137
138 uint8_t leerBotones() {
139     uint8_t estado = 0;
140     for (int i = 0; i < 6; i++) {
141         if (digitalRead(botones[i]) == HIGH) {
142             estado |= (1 << i); // botón levantado = 1
143         }
144     }
145     return estado;
```

(d) Código (d)

Figura 36

Códigos del sistema desarrollados

Fuente: Autor

Anexo D: Evaluaciones Pedagógicas



Figura 37

Evaluación Pedagógica 1



Figura 38

Evaluación Pedagógica 2

Anexo E: Evaluaciones a usuarios



Figura 39

Evaluaciones a usuarios



Figura 40

Evaluaciones a usuarios



Figura 41

Evaluaciones a usuarios