



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Diseño e implementación de un dispositivo electrónico interactivo para aprendizaje de Pre-Braille orientado a personas con discapacidad visual

Trabajo de graduación previo a la obtención del Título de
Ingeniero Electrónico

Autores:

Catalina Avendaño Mejía

Freddy Esteban Villa Cajilima

Director:

Mst. Omar Santiago Alvarado Cando

Cuenca – Ecuador

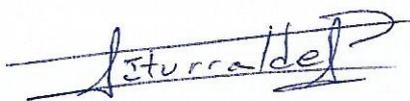
2019

Diseño e implementación de un dispositivo electrónico interactivo para aprendizaje de Pre-Braille orientado a personas con discapacidad visual.

RESUMEN

Este artículo detalla el diseño e implementación de un dispositivo interactivo para aprendizaje de pre-Braille. El usuario dispone de piezas extraíbles que representan a los puntos en relieve del sistema Braille para la formación de letras y números, que podrán ser reproducidos fonéticamente mediante botones de diferentes texturas y con distintas frases para cada símbolo. El dispositivo está desarrollado en software y hardware libre mediante Raspberry Pi y lenguaje Python, respectivamente. El dispositivo final tiene el 100% de efectividad al reconocer los símbolos del sistema Braille y reproducirlos fonéticamente; además, fue validado por un equipo pedagógico.

Palabras clave: Tecnología Asistiva, Braille, TIC, Discapacidad Visual, Raspberry PI.



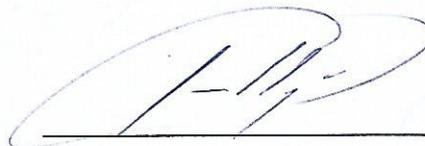
Ing. Daniel Iturralde Piedra. Ph.D.
Coordinador de Carrera.



Mst. Omar Alvarado.
Director de Trabajo de Titulación



Catalina Avendaño Mejía
Autor



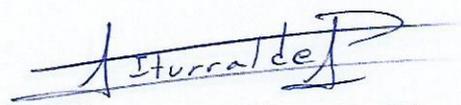
Freddy Esteban Villa Cajilima
Autor

Design and implementation of an interactive electronic device for Pre-Braille learning aimed at people with visual disabilities.

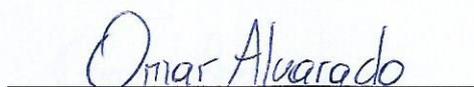
ABSTRACT

This article details the design and implementation of an interactive device for pre-Braille learning. The user has removable pieces that represent the raised points of the Braille system for the formation of letters and numbers. These can be reproduced phonetically using buttons of different textures and different phrases for each symbol. The device was developed in free software and hardware using Raspberry Pi and Python language respectively. The final device is 100% effective in recognizing Braille symbols and playing them phonetically. In addition, it was validated by a pedagogical team.

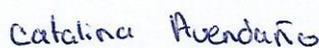
Keywords: Assistive technology, braille, ICT, visual disability, Raspberry PI.



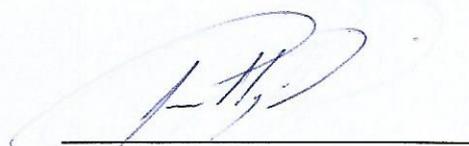
Ing. Daniel Iturralde Piedra Ph.D.
Faculty Coordinator



Mst. Omar Alvarado
Thesis Director



Catalina Avendaño Mejía
Author



Freddy Esteban Villa Cajilima
Author



UNIVERSIDAD DEL
AZUAY
Dpto. Idiomas



Translated by
Ing. Paúl Arpi

Diseño e implementación de un dispositivo electrónico interactivo para aprendizaje de Pre-Braille orientado a personas con discapacidad visual.

C. Avendaño-Mejía,

Escuela de Ingeniería Electrónica, Universidad del Azuay, UDA
Cuenca, Ecuador
cataavendano48@gmail.com

F. Villa-Cajilima,

Escuela de Ingeniería Electrónica, Universidad del Azuay, UDA
Cuenca, Ecuador
freddy_vill@outlook.com

Resumen. - Este artículo detalla el diseño e implementación de un dispositivo interactivo para aprendizaje de pre-Braille. El usuario dispone de piezas extraíbles que representan a los puntos en relieve del sistema Braille para la formación de letras y números que podrán ser reproducidos fonéticamente mediante botones de diferentes texturas y con distintas frases para cada símbolo. El dispositivo está desarrollado en software y hardware libre mediante Raspberry Pi y lenguaje Python, respectivamente. El dispositivo final tiene el 100% de efectividad al reconocer los símbolos del sistema Braille y reproducirlos fonéticamente.

Palabras Clave. – Tecnología Asistiva, Braille, TIC, Discapacidad Visual, Raspberry Pi.

I. INTRODUCCIÓN

Existe mucha complejidad en la enseñanza de Braille en niños, según el Instituto de Tecnologías Educativas de España el aprendizaje de este sistema requiere motivación, atención y concentración [1]. El proceso de aprendizaje en educación especial no solamente requiere de docentes capacitados para atender a diversas discapacidades, sino también de la aplicación de estrategias innovadoras que cubran las necesidades de los estudiantes, así como el uso de la tecnología dentro del campo de la “Ayuda Asistiva”.

En discapacidad visual existen varias necesidades que deben ser atendidas desde el nivel inicial, una de ellas es el acceso a la información, por lo que se considera importante iniciar el proceso de enseñanza-aprendizaje del sistema Braille, a través del uso de las TIC (Tecnologías de la Información y Comunicación), para que en el nivel básico los niños ya estén familiarizados con este código [1]. Al igual que los niños sin discapacidad visual, el proceso de aprendizaje de lectura y escritura se inicia a través de varias etapas en las que se desarrolla el reconocimiento de letras, números y otros símbolos; estas etapas se presentan de manera similar en un nivel inicial, en el proceso de enseñanza para niños con discapacidad visual, que se denomina “pre-Braille”. [1]

El sistema Braille ha permitido a los niños con discapacidad visual aprender de forma simultánea con sus compañeros videntes en un ambiente escolar inclusivo, lo que mejora su calidad de vida [2]

Según registros del Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades CONADIS, en el Ecuador existen 51.850 personas con discapacidad visual, de las cuales 2938 están en edad de escolarización, es decir entre 4 y 17 años, según datos recogidos por el Consejo de Discapacidades, el mayor número de personas con discapacidad visual se encuentra en la provincia del Guayas (7.228), le sigue Pichincha (4.358) y Manabí (2.768); por otro lado, en la provincia del Azuay, donde fue aplicado el dispositivo existen (2,937) lo que corresponde al 6.03 % de la población total con discapacidad visual en el Ecuador [3].

La motivación para la realización de este proyecto es brindar un dispositivo de soporte para el aprendizaje del sistema Braille para personas con discapacidad visual. La característica principal del sistema es que posee retroalimentación auditiva para una estimulación en el aprendizaje, facilitando al cuidador informal o docente el proceso de enseñanza. En el mercado no existe un dispositivo para la enseñanza del sistema Braille que tenga retroalimentación para dicho aprendizaje.

Este artículo está organizado de la siguiente manera, en la sección II una recopilación bibliográfica sobre el sistema Braille, métodos empleados para su enseñanza y estado del arte del equipo. En la sección III se procede a la descripción del desarrollo del dispositivo, es decir los elementos que lo componen en hardware y la programación correspondiente a su software. Por último, se exponen los resultados obtenidos mediante pruebas realizadas con el dispositivo a personas de diferentes edades.

II. MARCO TEÓRICO

A. Sistema Braille

La definición de sistema Braille según el diccionario de la Real Academia Española es: “Sistema de escritura para ciegos que consiste en signos dibujados en relieve para poder leer con los dedos” [4].

Antes de llegar al sistema Braille, los métodos de lectura y escritura para personas con discapacidad visual ha tenido evoluciones. En el año 1580 Francisco Lucas, considerado el mejor calígrafo español de todos los tiempos, presentaba letras del alfabeto romano marcadas en relieve en tablas de madera, siendo este el primer registro conocido de un sistema para lectura mediante el tacto [5]. En 1795 el francés Valentín Haüy, propulsor del primer Instituto de Jóvenes Ciegos de París, empleó letras del alfabeto latino en tamaño superior grabadas en relieve en hojas de papel grueso; con este método aprendió a leer, compuso frases, y dominaba ortografía y operaciones básicas de cálculo. En 1808 Charles Barbier publica un método de “escritura nocturna”, para operaciones militares, el cual consiste en un alfabeto puntiforme, que posteriormente fue adaptado para la enseñanza de los ciegos; también inventó los instrumentos para la escritura de este, como la máquina, punzón y pizarra. Este método se introdujo de manera experimental en el Instituto Nacional para Jóvenes Ciegos de París, donde Louis Braille (1809-1852), más tarde convertido en profesor, mejoraría la técnica al usar 6 puntos, no 8 ni 12 como en el método Barbier, debido a que 6 era la cantidad máxima que podía palpar simultáneamente la yema de su dedo. Creó el signo generador (figura 1), el cual consiste en una estructura rectangular de 2.5 x 5 mm, formada por dos columnas paralelas de tres puntos cada una, para un total de 6 puntos [6].



Figura 1. Signo generador [7].

A partir de estos 6 puntos se logran 64 combinaciones distintas (incluida la que no contiene ningún punto), las cuales resultan insuficientes para la gran variedad de letras, símbolos y números que se presentan en cada idioma. Este inconveniente se logra solucionar mediante el uso de símbolos dobles; esto consiste en anteponer un patrón a cada letra representada en Braille; dicho patrón, formado por los puntos correspondientes al sistema mencionado, brinda un significado diferente al que originalmente se conoce [8].

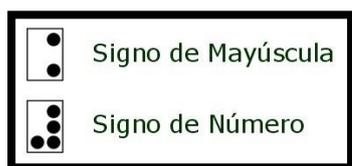


Figura 2. Símbolos dobles [9].

Por lo tanto, algunos signos del Braille son representados por más de una matriz, por ejemplo, las letras en mayúsculas, que las antepone un signo conformado por los puntos 4 y 6 de

la columna derecha, denominado “signo de mayúscula”, indicando que la letra a continuación es mayúscula.

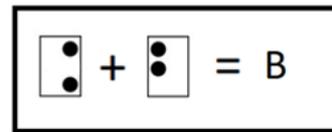


Figura 3. Ejemplo de formación de letras mayúsculas.

El sistema numérico (0-9) en Braille se puede obtener mediante la combinación de los 10 primeros caracteres alfabéticos (a-j) representados en este sistema junto al símbolo correspondiente para la formación de número; este símbolo está conformado por los puntos 4, 5, 6 y 3. Si se antepone el signo de número a la letra "a" se origina el número “1” y así, de manera sucesiva hasta llegar a la letra “j”, la cual corresponde al número “0” [7].

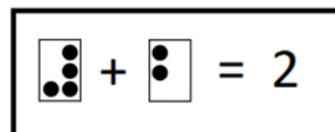


Figura 4. Ejemplo de formación de números.

B. Métodos de enseñanza

El aprendizaje de este sistema comienza desde lo más sencillo, como una letra, lo que se denomina pre-Braille, hasta lo más complejo, como lo son palabras, oraciones y frases. Muchos métodos enfocados a la población infantil se orientan en que el niño conozca el espacio rectangular en el que se encuentran los seis puntos y ubicación de estos pertenecientes al signo generador, para lo cual se utilizan materiales que imitan a la celda de Braille en un tamaño mayor al habitual, para facilitar el aprendizaje del niño [1].

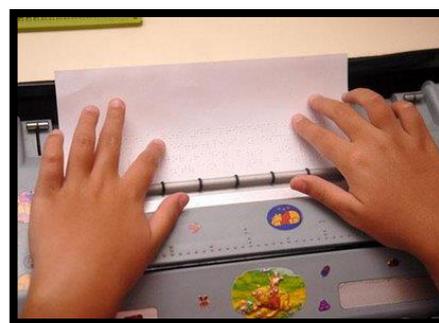


Figura 5. Enseñanza del sistema Braille mediante métodos tradicionales [10].

A continuación, se describen algunos métodos utilizados para la enseñanza en la población infantil:

- *Método “Alborada”*

Este método comienza con la enseñanza de la prelectura, en donde se introducen las letras con frases, cuya complejidad aumenta a medida que se avanza en la enseñanza. Este es un método bastante motivador para el alumno y fácil de utilizar. El orden de enseñanza de las letras está presentado de acuerdo con la facilidad o complejidad de cada signo [1].

- *Método “Almazara”*

Este es un método de prelectura y preescritura, en el cual se parte del signo generador para ubicar los puntos en el espacio, como por ejemplo abajo-izquierda, arriba-derecha, medio-izquierda, etc. En este método se enseña tanto la lectura como la escritura, esto con el fin de que el alumno identifique el grupo de puntos y, de ser posible cree una imagen mental de cada una de las letras en Braille. La ventaja de este método es que posteriormente se puede trabajar sobre cualquier método de lectura y escritura, utilizado en el ambiente escolar integrado [2].

- *Método “Tomillo”*

En este método los objetivos son: lograr una lectura comprensiva y estimular el deseo a la lectura a través de materiales entretenidos, como lo son representaciones en relieve. El orden en el que se enseñan las letras en Braille depende tanto de las dificultades del sistema Braille como de las propias de la lengua española. Se empieza por palabras sencillas y cortas conocidas oralmente por los alumnos [2].

- *Método “Punto a Punto”*

Es un método de prelectura y preescritura, el cual está estructurado en dos partes: la primera consiste en una serie de ejercicios y actividades de prelectura. Seguidamente, se enseña el signo generador, comenzando así a diferenciar las primeras letras en Braille y a su vez se empieza la enseñanza de la preescritura, para esto se presenta el signo generador, en un tamaño mayor al habitual con puntos en relieve y adhesivos con texturas para situarlas en los huecos del signo generador; a dicho cajetín se le va reduciendo el tamaño gradualmente hasta llegar al tamaño del Braille estándar. En la segunda parte se enseñan las letras en orden de dificultad (de menor a mayor) y se realizan actividades de combinación de letras para formas silabas, palabras, hasta llegar a construir frases [2].

- *Método “A Punto”*

En este método se trabaja con la máquina de escribir “Perkins” (máquina mecánica que sirve para escribir en Braille), como un instrumento de apoyo para la lectura. El autor del método afirma que, si existe una buena orientación espacial e independencia digital, el trabajo con la máquina es una muy buena ayuda para la lectura. Una de las ventajas de este método

es el uso de la máquina desde las primeras instancias, lo que le vuelve bastante motivador para los estudiantes [2].

- *Método “Alameda”*

El enfoque de este método es la maduración lectoescritora tanto para estudiantes ciegos como para los que tenga deficiencia visual y que se encuentren en edades de 3 a 6 años. Se centra en desarrollar habilidades básicas para el comienzo del aprendizaje del sistema Braille. En este método describe como el niño ciego tendrá que paulatinamente aceptar que tiene una diferencia en relación con sus compañeros. El método acumula orientaciones básicas, para posteriormente ser adaptadas a las singularidades de cada niño, familia y centro, con el objetivo de mejorar la inclusión del alumno en estos ámbitos.

Es importante analizar la importancia de la tecnología en la actualidad, tanto en los ámbitos sociales, como laborales y académicos. Se ha planteado la probabilidad de que el Braille sea compatible con el aprendizaje de nuevas tecnologías, ya que aumenta el desarrollo y las oportunidades de inclusión del alumno en centros educativos. A continuación, se presentarán tres métodos para la enseñanza del Braille con las TIC [2].

- *Método “Cantaletas”*

Es un programa informático para el comienzo y refuerzo de la enseñanza de la lectoescritura de niños ciegos, utilizando el teclado qwerty¹. El objetivo principal de este sistema es la motivación por el aprendizaje, ya que el aprendizaje tradicional en papel puede resultar un poco aburrido para el alumno. Las primeras fases se trabajan en un ordenador con una salida de audio [2].

- *Método “Braillestudio”*

El Braillestudio es un software para el aprendizaje del sistema Braille, cuyo objetivo principal es que el aprendizaje sea divertido, pues está desarrollado especialmente para niños desde los 4 años. Una de las características principales es que el aprendizaje por medio de dicho software necesita una minúscula ayuda de un especialista; otra es que el programa ofrece una salida de audio, ya que el paso de texto a voz resulta provechoso [2].

- *Método “Braitico” (método de la ONCE para la alfabetización y competencia lectoescritora)*

Este método fue creado por la ONCE (Organización Nacional de Ciegos Españoles), a través de la CBE

¹ Qwerty: es la distribución de teclado más común, fue diseñada por Christopher Sholes en 1868.

(Comisión Braille Española), nacido de la idea de que las TIC deben formar parte del proceso de aprendizaje.

Este método es provechoso tanto para alumnos con leve discapacidad visual como para aquellos con grave; utiliza materiales que se han utilizado anteriormente, otros nuevos e ideas para la construcción de materiales por parte de los profesores o familias. Combina lo que existía hasta el momento con el uso de las TIC.

El nombre *Braitico* está dado por: *Brai* de *Braille*, *Tic* de *TIC* (Tecnologías de la Información y la Comunicación) y *O* por *ONCE*. Se encuentra dirigido a niños con ceguera o discapacidad visual grave, que se encuentren iniciando su proceso de alfabetización en Braille; es un método que se puede utilizar en ámbitos inclusivos, ya que lo pueden usar tanto alumnos sin discapacidad visual como aquellos que sí la padecen y por último que utiliza las TIC como otro medio de aprendizaje. Cuenta con materiales de manipulación, de papel y de las TIC, los cuales juegan un papel primordial, debido a que todos los materiales didácticos se encuentran incluidos en un software y, por otro lado, el niño cuenta con recursos en el ordenador con los que podrá interactuar por medio de la tableta digitalizadora y la línea Braille. [11]

Las tecnologías de la información y la comunicación posibilitan y estimulan el acceso a la información utilizando recursos electrónicos e informáticos. Estas tecnologías ya no son tan nuevas, sin embargo, se renuevan constantemente. En el caso de las personas con discapacidad visual, las TIC han tenido en cuenta al sistema Braille, así como sus herramientas derivadas como lo son los sistemas de comunicación auditiva y las ayudas ópticas. La educación es la encargada de una buena enseñanza tanto del Braille como de las TIC, por lo tanto, es necesario que se enseñen y ocupen de manera equitativa, ya que si el uso de las TIC produce disminución del uso del Braille o viceversa no se estarían aplicando correctamente [12].

Investigaciones desarrolladas por la ONCE (Organización Nacional de Ciegos Españoles), demuestran el beneficio de las TIC para alumnos con discapacidad visual y además que estas pueden ser utilizadas desde etapas tempranas para la alfabetización del sistema Braille; estudios realizados por el Grupo Accedo (Grupo de Accesibilidad a Contenidos Educativos Digitales de la ONCE) demuestran la capacidad de las TIC para la alfabetización Braille en todas sus partes, es decir desde las destrezas previas hasta la aptitud lectoescritora. Es importante recalcar: que las TIC fomentan la autonomía, autoestima e inclusión de los alumnos y que la tecnología ejerce sobre los niños atracción y motivación [11].

Las herramientas TIC más conocidas son: la “tableta digitalizadora” y la “línea braille”, además del “lápiz lector (LEO)”, como herramienta de complemento y motivación [11].

III. ESTADO DEL ARTE

La investigación bibliográfica ha sido realizada en los buscadores académicos IEEEExplore, Google Scholar y Scopus,

en el mes de octubre del 2018, mediante las palabras claves: Braille, Device, Low Cost, Inclusive, Educational, Technology; a través del uso de filtros se limitó la búsqueda en Abstract, Título y Palabras Clave establecidos por el autor de cada artículo. Es posible destacar algunas referencias en el campo de diseño e implementación de sistemas interactivos para soporte y aprendizaje del sistema Braille orientado a personas con discapacidad visual, los cuales emplean diversos métodos para lograr este objetivo, con la característica común del uso de tecnologías de la comunicación en varios de ellos. Los trabajos referidos son mencionados a continuación.

El artículo titulado *Braille Tutorial Model using Braille Fingers Puller* publicado en el año 2017, trata del desarrollo de un dispositivo orientado hacia personas que no han tenido contacto con el sistema Braille anteriormente. Este dispositivo consiste en una distribución ya sea horizontal o vertical de seis anillos, correspondiente cada uno a las celdillas de la simbología Braille; cada anillo se encuentra conectado a un interruptor encargado de enviar una señal a la tarjeta controladora *Arduino* y este, a su vez, es capaz de interpretar a qué símbolo o letra corresponde y los resultados se intercambian con un teléfono móvil a través de una aplicación conectada vía Bluetooth. El método de enseñanza empleado en este artículo está orientado al entrenamiento de la memoria. [13]



Figura 6. Uso de anillos adaptados en interruptores [13].

En el artículo *A Cost Effective Electronic Braille for Visually Impaired Individuals* publicado en el año 2017, se puede apreciar el desarrollo de un dispositivo conformado por seis actuadores distribuidos ordenadamente según el patrón que sigue el sistema Braille. Dichos actuadores son accionados mediante la tarjeta controladora *Arduino*, el cual es conectado a un computador; su fin es traducir los caracteres que son ingresados en la pantalla, los solenoides de los actuadores serán activados o desactivados según la letra y, de esta manera, se forma el símbolo correspondiente a la misma en el sistema Braille. Este dispositivo tiene el objetivo de ser una herramienta electromecánica de bajo coste para diversas metodologías de enseñanza y requiere la

presencia de un tutor que interactúe con el computador [14].

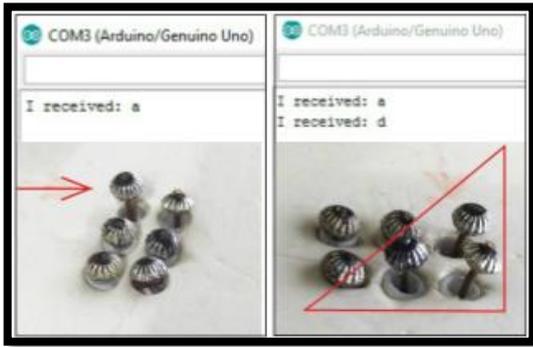


Figura 7. Elementos mecánicos retráctiles e interfaz de entrada de caracteres [14].

El artículo *Braille Cell Actuator Based Teaching System for Visually Impaired Students* publicado en el año 2016, describe el desarrollo de un prototipo para enseñanza del sistema Braille a varios estudiantes simultáneamente, su funcionamiento se enfoca en optimizar el tiempo necesario para el aprendizaje. Este dispositivo está comprendido por dos partes principales: 1) El módulo maestro, comandado por el tutor de manera remota, en donde se ingresará la letra para que el estudiante la interprete en su módulo receptor. 2) El módulo receptor, utilizado por el alumno, que puede ir desde 1 hasta N dispositivos; se basa en un arreglo de celdas representadoras del sistema Braille, que son capaces de generar el símbolo correspondiente a una letra ingresada por el tutor. Este prototipo está abierto a la metodología de enseñanza que se considere conveniente por el personal pedagógico [15].

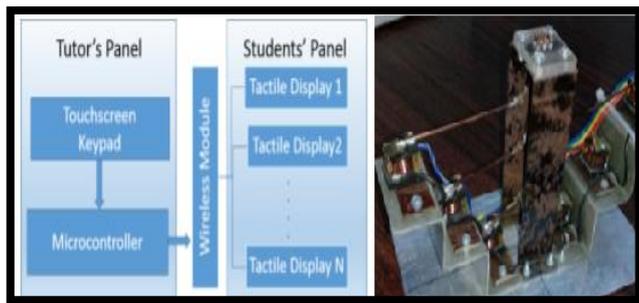


Figura 8. Diagrama de bloques y forma física del sistema mecánico [15].

En el artículo *Real Time Sign Language to Braille Interfacing System* publicado en el año 2017, se describe el desarrollo de una interfaz que se encarga de traducir el lenguaje de señas ASL o *American Sign Language* al sistema Braille a través de programación en computador y actuadores comandados a través de la tarjeta controladora *Arduino*. En el programa se establece una tabla de relación entre el ASL y su equivalente a Braille como código de seis bits, el mismo que será enviado a seis salidas lógicas respectivamente en la tarjeta. Este proyecto pretende funcionar como convertidor entre estos dos sistemas Señas y Braille, resultando ser una herramienta

útil para futuras ideas que requieran del uso de esta interfaz [16].

ASL Input	Intermediate English Character	Desired Braille Output	Obtained Braille Output
	a		

Figura 9. Relación entre Caracter, Lenguaje de Señas y Sistema Braille [16].

El artículo *Development of a Braille Display using Piezoelectric Linear Motors* publicado en el año 2006, detalla acerca del uso de motores de característica piezoeléctrica para lograr obtener un prototipo de *Display Braille*. Este documento se centra en la velocidad de respuesta, con el fin de que el diseño logre funcionar a tiempo real entre el software, la tarjeta controladora *Arduino* y los actuadores piezoeléctricos. Este tipo de prototipo es una de las herramientas para soporte del aprendizaje del sistema Braille, denominados *Display*, diseñados especialmente para estimular el sentido del tacto en las yemas dactilares; puede emplearse para el entrenamiento de la memoria del estudiante [17].

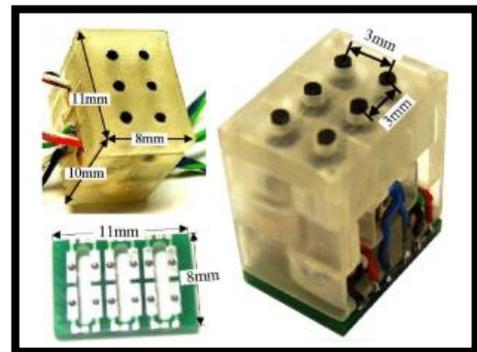


Figura 10. Forma física de motores piezoeléctricos adaptados para Braille [17].

El artículo *Braille Teaching Electronic Prototype* publicado en el año 2016, describe un dispositivo orientado a la enseñanza y memorización del sistema Braille para personas no videntes, el cual consta de pulsantes que simulan los puntos utilizados en el sistema Braille. La característica de este trabajo es que emplea la tecnología de comunicación Bluetooth para enviar datos hacia un Smartphone en el que serán analizados posteriormente. El dispositivo mostrado en la figura 11. no posee partes removibles que permitan interactividad fuerte con el usuario [18].



Figura 11. Dispositivo simulador de Braille con comunicación Bluetooth [18].

El artículo *Audio-Assisted Standalone Microcontroller-Based Braille System Tutor for Grade 1 Braille Symbols* publicado en el año 2016, corresponde a un dispositivo autónomo conformado por un microprocesador asistido por audio, para generar símbolos de Braille. El objetivo de este proyecto fue realizar un dispositivo para el aprendizaje del código Braille para países en vías de desarrollo, como lo es Filipinas, el cual consta de 2 celdas, una es para lectura y la otra para escritura de los caracteres alfanuméricos; se utilizó el microprocesador Raspberry Pi 2 B+ y la programación fue realizada en el lenguaje Python. El programa activa solenoides Push-Pull para mostrar los símbolos del código Braille en modo lectura, también activa pulsantes para ser presionados por el usuario para el modo escritura. Los resultados de estos dispositivos dieron una precisión del 100% para los caracteres en modo lectura y modo escritura de los símbolos de Braille grado 1 [19].

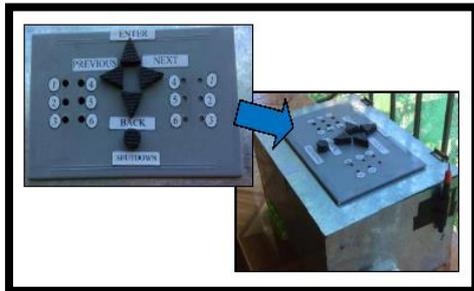


Figura 12. Hardware implementado en la maqueta final del prototipo [19].

El artículo *Design and construction of a device for facilitating the learning of Braille literacy system* publicado en el año 2016, aquí se describe a un dispositivo con funcionamiento mecatrónico, el cual consta de 6 figuras que se realizan mecánicamente a relieve para que el estudiante tenga apoyo en el aprendizaje de este sistema. Consta además de un software de comunicación con un computador para que el docente o tutor logre llevar una supervisión en el transcurso de la enseñanza a través de reproducción auditiva [20].

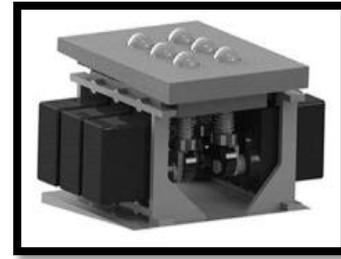


Figura 13. Actuadores empleados para el movimiento de las piezas a relieve [20].

IV. MODELO DE ANÁLISIS DEL SISTEMA

El dispositivo ha sido nombrado *BRILLET*; es una unión de sílabas que vienen dadas por *BRAIL* de *Braille* y *LET* de *Letras*. El dispositivo electrónico diseñado es parte de una rama llamada *tiflotecnología*, viene del griego *tiflos* que significa ciego, es una serie de técnicas, conocimientos y materiales para que las personas con discapacidad visual puedan utilizar la tecnología de una manera correcta y oportuna. Provee instrumentos auxiliares, ayudas tecnológicas para ayudar a las personas con discapacidad visual o ceguera a acceder a una correcta utilización de la tecnología, proporcionándoles autonomía e inclusión tanto educativa como laboral [21].

La creación del dispositivo, desde el punto de vista educativo, parte de la necesidad de los niños con ceguera por iniciar el aprendizaje del sistema Braille, esto se cubre de una forma distinta a la enseñanza habitual del pre-Braille, por lo cual se diseña un dispositivo electrónico que contiene las vías de información con las que una persona con ceguera puede aprender. Para comenzar con la enseñanza del sistema lectoescritor Braille, es indispensable usar elementos agrandados que tengan la función de simular el signo generador, por lo tanto, en el diseño del dispositivo se emplearon cajetines del signo generador de varios tamaños [22].

Para la explicación del sistema desde el punto de vista del usuario se realizó un diagrama de casos de uso, en el cual se utilizó el lenguaje de programación gráfico UML (Lenguaje Unificado de Modelado), para dicho diagrama primero se debe definir el diagrama de actores como se observa en la figura 14, el cual consiste en los usuarios que interactuarán con el sistema Brillet. A continuación del diagrama de actores se puede observar el diagrama de casos de uso, donde se encuentran todas las acciones que pueden realizar tanto el profesor como el alumno. En las tablas I-X se describen los requisitos funcionales del sistema Brillet, consisten en las actividades que se pueden realizar.

Para el desarrollo del equipo se optó por hardware (Raspberry Pi) y software libre (Phyton) para que la tecnología sea accesible a las personas.

A. Requisitos Funcionales

TABLA I
REQUISITO FUNCIONAL 1

Denominación	RF1
Título	Botón de calificación 1
Especificación	Selección de botón de calificación correcta.
Descripción	<ul style="list-style-type: none"> Este botón tiene la función de reproducir un audio con la frase: "lo hiciste muy bien", el cual será de manejo exclusivo del profesor para expresar que el alumno realizó correctamente la tarea asignada.

TABLA II
REQUISITO FUNCIONAL 2

Denominación	RF2
Título	Botón de calificación 2
Especificación	Selección de botón de calificación incorrecta.
Descripción	<ul style="list-style-type: none"> Este botón tiene la función de reproducir la frase: "inténtalo otra vez", el cual será de manejo exclusivo del profesor para expresar que el alumno no realizó correctamente la tarea asignada.

TABLA III
REQUISITO FUNCIONAL 3

Denominación	RF3
Título	Manejo del cambio de modo <i>lectura a escritura</i>
Especificación	Interruptor de cambio de modo <i>lectura a escritura</i> y viceversa
Descripción	<ul style="list-style-type: none"> Este interruptor tiene la función de cambiar de modo lectura a modo escritura y viceversa. Este interruptor será de uso exclusivo del profesor encargado. Todas las letras y números tienen modo lectura y modo escritura.

TABLA IV
REQUISITO FUNCIONAL 4

Denominación	RF4
Título	Manejo del cambio de modo <i>letras a números</i> .
Especificación	Interruptor de cambio de modo <i>letras a números</i> y viceversa
Descripción	<ul style="list-style-type: none"> Este interruptor tiene la función de cambiar de modo letras, que es donde se forman las diferentes letras del alfabeto, a modo números para formar los números del 0 al 9 y viceversa. Este interruptor será de uso exclusivo del profesor encargado.

TABLA V
REQUISITO FUNCIONAL 5

Denominación	RF5
Título	Interruptor de encendido y apagado
Especificación	Interruptor para el encendido y el apagado del dispositivo.
Descripción	<ul style="list-style-type: none"> Este interruptor tiene la función de encender y apagar el sistema <i>Braillet</i>. Este interruptor será de uso exclusivo del profesor encargado.

TABLA VI
REQUISITO FUNCIONAL 6

Denominación	RF6
Título	Botón de especificación
Especificación	Describe por medio de audio el carácter formado
Descripción	<ul style="list-style-type: none"> Este botón tiene la función de reproducir audios con las frases: "esta es la letra...", para cada una de las letras del alfabeto. También reproduce audios con las frases: "este es el numero...", para cada uno de los números del 0 al 9. Este botón será para manejo tanto del profesor como del alumno.

TABLA VII
REQUISITO FUNCIONAL 7

Denominación	RF7
Título	Botón de palabras
Especificación	Describe por medio de audio palabras del carácter formado
Descripción	<ul style="list-style-type: none"> Este botón tiene la función de reproducir audios que describen palabras con cada una de las letras del alfabeto, dependiendo de cuál haya sido formada por el alumno. Este botón será para manejo tanto del profesor como del alumno.

TABLA VIII
REQUISITO FUNCIONAL 8

Denominación	RF8
Título	Botón de pregunta
Especificación	Pregunta por medio de audio palabras del carácter formado
Descripción	<ul style="list-style-type: none"> Este botón tiene la función de reproducir audios con las frases: "te toca decir una palabra con la letra...", para cada una de las letras del alfabeto dependiendo de cuál haya sido formada por el alumno. Este botón será para manejo tanto del profesor como del alumno.

TABLA IX
REQUISITO FUNCIONAL 9

Denominación	RF9
Título	Botón de canciones
Especificación	Reproduce audios con canciones
Descripción	<ul style="list-style-type: none"> Este botón tiene la función de reproducir audios con canciones de cada una de las letras del alfabeto, dependiendo de cuál haya sido formada por el alumno. También reproduce audios con canciones, para cada uno de los números del 0 al 9. Este botón será para manejo tanto del profesor como del alumno.

TABLA X
REQUISITO FUNCIONAL 10

Denominación	RF10
Título	Botón de rimas
Especificación	Reproduce audios con rimas
Descripción	<ul style="list-style-type: none"> Este botón tiene la función de reproducir audios con rimas de cada una de las letras del alfabeto, dependiendo de cuál haya sido formada el alumno. También reproduce audios con rimas para cada uno de los números del 0 al 9. Este botón será para manejo tanto del profesor como del alumno.

B. Requisitos no Funcionales

Usabilidad: El dispositivo ha sido diseñado de manera que brinde una cómoda interacción con el usuario, ya que se ha considerado de manera cuidadosa las medidas de cada componente externo, el peso de las piezas extraíbles, la disposición de los pulsantes e interruptores y la calidad del audio; además, la forma lisa de la superficie resulta agradable al tacto y las superficies con texturas distintas por botón facilitan la asociación y reconocimiento por parte del usuario.

Funcionalidad: Debido a que la tarjeta controladora Raspberry Pi 3 modelo B contiene un potente procesador Quad-Core de 1.20GHz el manejo de las múltiples funciones del dispositivo resulta rápido y eficiente. Las funciones operan correctamente, sin confusiones entre caracteres, para todas las letras y números en cada modo.

Simplicidad: La versión final de Braillet es un trabajo interdisciplinario ya que ha sido diseñado junto al apoyo de un profesional en diseño de objetos y de un equipo pedagógico, el cual ha brindado las sugerencias adecuadas en formas de los elementos, sus medidas y las diversas funciones para que pueda ser utilizado con comodidad en el ámbito de enseñanza.

Flexibilidad: Las funciones del equipo han sido implementadas estratégicamente para que puedan ser utilizadas en los métodos de enseñanza que el tutor o docente crea conveniente.

El dispositivo, al ser de Software libre, puede ser actualizado según se requiera. En el Hardware, los pines no

utilizados se encuentran al acceso del usuario en la placa, en caso de que se requiera implementar de más funciones.

Confiabilidad: Los sensores actúan de manera correcta entre las piezas extraíbles y el controlador, se espera una eficiencia del 100% posterior a las pruebas y de esta manera garantizar que los caracteres siempre se reconozcan correctamente en el Simulador del Signo Generator, sin confusiones entre caracteres en todos los modos.

C. Diagrama de Actores

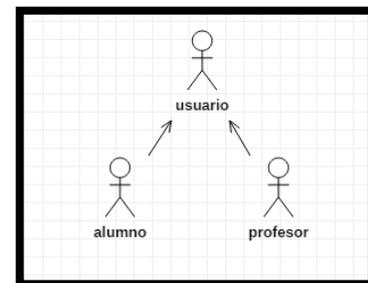


Figura 14. Diagrama de actores.

D. Diagrama de casos de uso

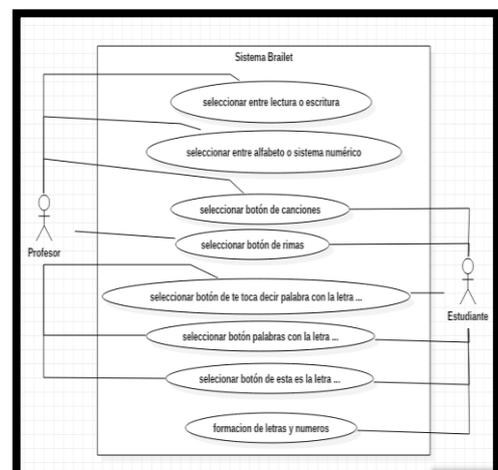


Figura 15. Diagrama de casos de uso.

V. IMPLEMENTACIÓN DEL HARDWARE

La carcasa del dispositivo fue realizada bajo recomendaciones de un equipo pedagógico conformado por la Lcda. María Elisa Álvarez y la Lcda. Ruth Zumba, como parte de su trabajo de titulación: “Plan educativo para la iniciación del aprendizaje del sistema Braille mediante metodología TIC, dirigido a niños de 4 a 6 años de la Unidad de educación especial Claudio Neira Garzón”, de la carrera Educación Inicial, Estimulación e Intervención Precoz, en la Facultad de Filosofía de la Universidad del Azuay’ [22].

En la figura 16 se puede observar el diseño del dispositivo con sus respectivas medidas, también se

aprecian recuadros de diferentes colores con cada una de las partes del equipo.

- Rojo representa indicadores táctiles del sistema numérico (0-9); el
- Verde constituye indicadores del alfabeto.
- Azul es el cajetín donde el usuario deberá formar los diferentes caracteres alfanuméricos.
- Anaranjado representa indicadores del signo generador y de los símbolos dobles del Braille (Símbolo de Mayúscula, Símbolo de Numero).
- Morado abarca los botones de interacción con el usuario.

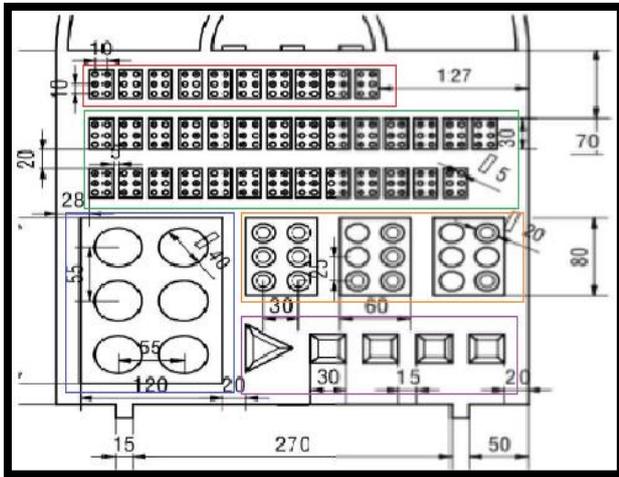


Figura 16. Diseño del dispositivo con sus partes y medidas.

El sistema consta de un indicador táctil del alfabeto Braille colocado en la parte superior cuidadosamente en orden de dificultad (de menor a mayor). Esta distribución es implementada con el objetivo de estimular el tacto y la memorización de las diversas letras y números del sistema Braille, tal como se muestra en la figura 17.



Figura 17. Sistema Braille representado en relieve.

Se posee una representación del signo generador y de los símbolos dobles, figura 18, colocados de igual manera en relieve, con el fin de que el estudiante logre diferenciar y memorizar tanto el signo generador como los símbolos de letras mayúsculas y el de números.

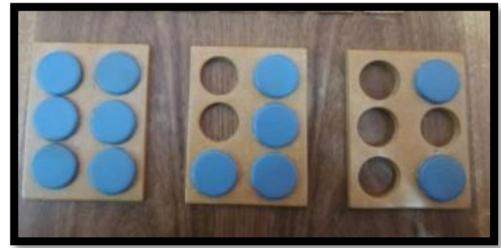


Figura 18. Representación de puntos Braille y símbolos dobles, pertenecientes a Mayúsculas y Números.

El dispositivo Braillet cuenta con un cajetín de 6 orificios para simular el signo generador, como se muestra en la figura 19, en donde el estudiante podrá formar a través de piezas extraíbles las diferentes letras y números tanto en lectura como en escritura del sistema Braille.



Figura 19. Simulador de signo generador.

Junto al simulador del signo generador se tiene 5 pulsadores con diferentes texturas cada uno para lograr diferenciarlos, figura 20. Estos pulsadores activan una función diferente dentro de la programación. Se los ha denominado *Botones de Control* y se encuentran descritos a continuación:

- *Botón de especificación*: reproduce un audio que describe el carácter alfanumérico que ha sido formado por el usuario en el signo generador.
- *Botón de palabras*: reproduce un audio que describe palabras con la letra formada por el usuario en el simulador de signo generador.
- *Botón de pregunta*: reproduce un audio que describe un desafío para el usuario, en el cual se le pide que diga una palabra con la letra formada en el signo generador.
- *Botón de canción*: reproduce un audio con una canción correspondiente al carácter alfanumérico formado por el usuario en el simulador de signo generador.
- *Botón de rimas*: reproduce un audio con una rima de palabras correspondientes al carácter alfanumérico formado por el usuario.



Figura 20. Botones de activación de audios.

Además, cuenta con 3 interruptores para manejo del profesor:

- Interruptor de lectura-escritura: este interruptor cambia de modo lectura a escritura y viceversa.
- Interruptor de letras-números: este interruptor cambia de modo letras a números y viceversa.
- Interruptor de encendido-apagado: este interruptor apaga y enciende el dispositivo.

Para la formación de los diferentes signos alfanuméricos, el dispositivo contiene 6 piezas extraíbles, figura 21, que deben ser insertadas en el simulador del signo generador, de tal manera que se forme el símbolo deseado; estas piezas son de forma circular, con 4 cm de diámetro, tamaño apropiado para que pueda ser manipulado por niños de diferentes edades. Dentro de cada una se ha ingresado un imán de neodimio, figura 22, colocado de tal manera que al introducirse en el dispositivo se ubique muy cercano a su interruptor magnético correspondiente de la placa electrónica. Se ha elegido este tipo de imán debido a la gran fuerza magnética que brinda [23].



Figura 21. Pieza extraíble utilizada junto a otras similares para la formación de los símbolos Braille.



Figura 22. Imán de neodimio.

Para mayor comodidad del docente y del estudiante, posee un contenedor para almacenamiento, que ha sido implementado con el objetivo de tener un lugar en donde se puedan colocar las piezas que no se estén utilizando durante la sesión de aprendizaje. La característica principal de este contenedor es que es desmontable, es decir, se lo puede extraer

para después poder colocarlo en un nuevo lugar en el mismo dispositivo, ya sea en la parte superior o inferior, diseñado para que encaje de acuerdo con los modos de empleo de cada estudiante.



Figura 23. Contenedor de almacenamiento para las piezas extraíbles.

La presencia de las piezas extraíbles es detectada gracias a la implementación de un total de 6 interruptores del tipo *Reed Switch* normalmente abiertos, los cuales se cierran ante la presencia de campo magnético generado por los imanes de neodimio colocados en cada pieza. Estos sensores están conectados a las entradas GPIO de la Raspberry mediante una resistencia en *pull down*, cuya configuración será de utilidad para la obtención de los valores lógicos deseados, 1 ante la presencia de la pieza, 0 para la ausencia.



Figura 24. Interruptor magnético normalmente abierto (*Reed Switch*).

Las señales digitales obtenidas a través de los interruptores son conectadas a su correspondiente diodo LED indicador; esto con el fin de obtener certidumbre de que el interruptor tiene correcta operación y, a su vez, que funcionará como indicador visual para el tutor o la persona encargada.

En la figura 25 se puede apreciar el diagrama esquemático de bloques que representa la implementación de pulsantes, interruptores y sensores; los valores lógicos ingresan a la tarjeta microprocesadora y son interpretados mediante programación y de esta manera se obtienen las diversas funciones del sistema.

El PCB 2, figura 29, se ha diseñado como shield², es decir está conectado directamente a los GPIO³ de la Raspberry. Esta placa es la encargada de obtener los valores lógicos correctos tanto de los pulsantes como de los sensores para comunicarse con el microprocesador que reconoce cuales están activos y realiza la reproducción fonética correspondiente. cosa

La efectividad ha sido determinada mediante la manipulación de las piezas extraíbles, colocándolas de manera aleatoria en el panel simulador de signo generador y mediante la observación de los indicadores Led, figura 28; estos se encienden siempre ante la presencia de cualquiera de las piezas empleadas, por tanto, la eficiencia de reconocimiento es del 100%.



Figura 28. Indicadores leds que encienden ante la presencia de las piezas extraíbles.

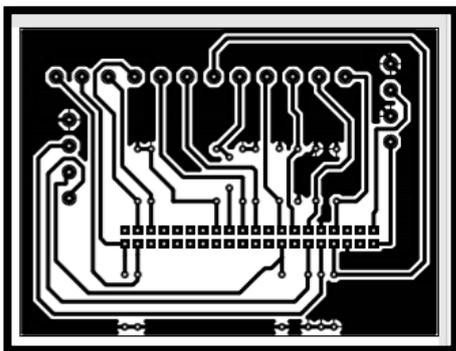


Figura 29. PCB 2, diseñado para encajar directamente en la tarjeta controladora Raspberry.

▪ Pruebas de funcionamiento de “Braillet”

Para las pruebas de software fue importante verificar que todos los audios funcionen correctamente, ya que si existieran audios con formato erróneo o se llame a alguno inexistente en las carpetas del sistema el dispositivo procedería a detener su funcionamiento hasta que se realice un reinicio, debido a que sería considerado como error de programación; por esta razón se ha verificado el funcionamiento de todas las reproducciones fonéticas tanto en lectura como en escritura.

Las pruebas mencionadas se han efectuado a través de la formación de los símbolos de las letras y números en el

simulador de signo generador en cada una de las funciones, tanto en el modo de lectura como escritura, se ha verificado que se reproduzca el audio correspondiente al símbolo, de acuerdo a qué botón de control de las funciones se encuentre en estado activo, lo cual ha dado como resultado un reconocimiento total de los signos sin errores, por tanto, se ha logrado obtener una efectividad del 100% de programación.

Otro requerimiento importante del software es que ninguna función interrumpa el funcionamiento de otra por más de que esta haya sido activada; para esto se ha utilizado un recurso de programación denominado “banderas”, que impide que esto suceda.

Con el fin de obtener porcentajes de eficiencia de los botones de control, se han efectuado pruebas de todas sus funciones. Las pruebas se han realizado de la siguiente manera: se han escogido 10 letras de manera arbitraria, que serían formadas cada una en el *simulador de signo generador*, tanto en el modo *lectura* como en *escritura*; posteriormente, se presiona un total de 10 veces cada botón de control para verificar la respuesta. Este mismo procedimiento se realiza en el modo *números*, de los cuales se han escogido 5, también de manera arbitraria.

El porcentaje medio calculado de eficiencia de los botones de control del Braillet es de 86,81%.

Los resultados son representados como porcentajes y se pueden apreciar en la siguiente figura 30:

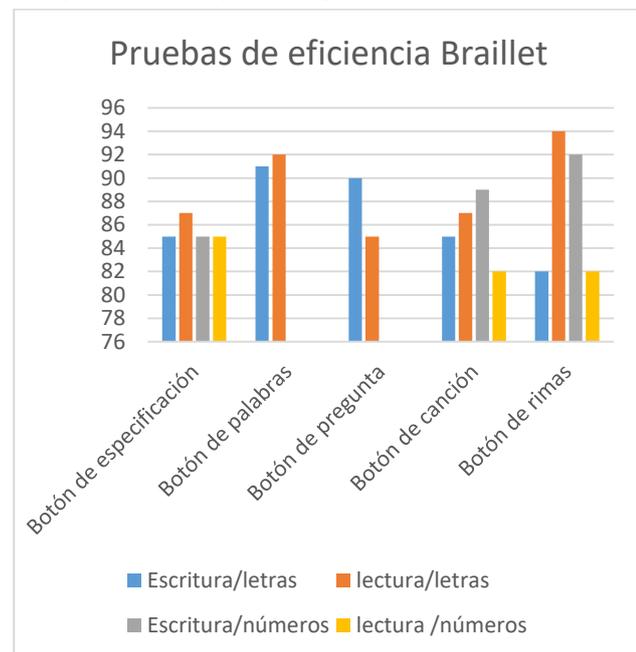


Figura 30. Pruebas de eficiencia de Braillet expresado en porcentajes.

² Shield: placa electrónica que se coloca en la parte superior de la tarjeta micro procesadora.

³ GPIO: Entrada/Salida de Propósito General.

▪ Introducción de Braillet a métodos de enseñanza

Las pruebas del dispositivo en métodos pedagógicos fueron realizadas por Lic. María Elisa Álvarez y Lic. Ruth Zumba, como parte de su trabajo de titulación llamado: “Plan educativo para la iniciación del aprendizaje del sistema Braille mediante metodología TIC, dirigido a niños de 4 a 6 años de la Unidad de educación especial Claudio Neira Garzón” de la carrera de Educación Inicial, Estimulación e Intervención Precoz, en la Facultad de Filosofía de la Universidad del Azuay, en el año 2018 dentro de la unidad educativa Claudio Neira Garzón. Donde las estudiantes María Elisa Álvarez y Ruth Zumba aplicaron una “*ficha de evaluación de habilidades para el aprendizaje pre-Braille*” a varios estudiantes. Todos los casos se encuentran en la edad de 5 años a excepción del caso 4 con edad de 6 años, dicha ficha evalúa las habilidades previas al sistema Braille en niños desde los 0 hasta los 6 años, está distribuida en 5 áreas: técnicas; prueba estructurada que es la aplicación directa de los ítems de la ficha; observación directa que permite apreciar habilidades del niño dentro del contexto natural; información del docente que permite registrar más ítems que no han sido evaluados y por último criterios los cuales se dividen en si el niño lo hace :solo, con apoyo verbal, con apoyo físico, con apoyo verbal y físico o no lo hace. Los resultados de la ficha de evaluación de habilidades para el aprendizaje de pre-Braille están detallados a continuación, donde se expresa a través de porcentajes el logro de la ficha para cada uno de los casos. [22]

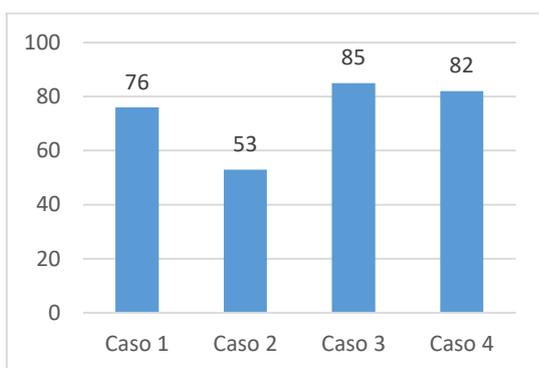


Figura 31. Resultados de la ficha de evaluación de habilidades para el aprendizaje pre-Braille.

Álvarez y Sumba agregan algunos comentarios para algunos de los casos, donde en el caso número uno aseguran que “*el avance poco significativo puede estar relacionado a la asistencia irregular de la estudiante y además a su ritmo de aprendizaje, el cual es lento*”; para el caso dos, el cual se trata del caso con menor avance de los 4 casos presentados, comentan que “*el avance es poco significativo debido su movilidad motriz disminuida, por lo que requiere apoyo físico para realizar las destrezas*” y para el caso número tres, el cual es el de mayor avance, afirman que “*la intervención le ha ayudado al alumno a ir adquiriendo progresivamente las habilidades para el PreBraille*”. [22]

Las estudiantes Álvarez y Sumba, Además de realizar las evaluaciones correspondientes a niños relacionados con el tema, realizaron una capacitación a docentes de la propuesta del dispositivo, cuyo objetivo fue: “*la familiarización sobre la implementación del dispositivo Braillet en el aprendizaje del sistema lectoescriptor*”.

Dentro de la capacitación surgieron comentarios por parte de los docentes sobre las funciones *rimas y canciones*, asegurando que: “*son opciones eficaces para trabajar con niños*”.

Al probar las funciones los docentes: “*lo califican como un sistema de respuesta apropiado para el niño*” [22].

Como resultado de la capacitación docente surgieron algunas incógnitas, las cuales fueron respondidas por las capacitadoras, dichas preguntas y sus respectivas respuestas están descritas a continuación:

1) ¿Qué tan útil es Braillet para iniciar el aprendizaje del sistema Braille?

Es un instrumento innovador que favorece el proceso de aprendizaje, logrando que sea divertido, además es provechoso para el desarrollo de las personas con discapacidad visual. [22]

Por otro lado, una maestra comenta que “*es un dispositivo bastante útil cuando está en la institución para el trabajo con sus niños*” [22].

2) ¿Qué modificaría del dispositivo Braillet?

La mayoría de los profesores expresan que no cambiarían nada del dispositivo, ya que es acorde para el aprendizaje pre-Braille, sin embargo, algunos manifiestan que en referencia al audio: subirían el volumen y varían voces de niño, hombre y mujer; otro profesional del área manifiesta que el dispositivo sea portable y manejable, pero que primero se debe utilizar el dispositivo un buen tiempo para después modificarlo [22].

Luego de las pruebas de validación del dispositivo se realizaron las modificaciones y recomendaciones sugeridas por el equipo pedagógico antes mencionado, las cuales son: eliminación de ruido en el parlante, mejoría en el reconocimiento de los diferentes símbolos, incorporación de los botones con los audios *Lo hiciste muy bien* e *Inténtalo otra vez*, implementación de leds indicadores, mejoría en la calidad de las placas electrónicas y optimización en el código de programación.

Luego de estos cambios se hicieron 4 pruebas finales de funcionamiento; para esto se realizaron fichas de observación, con el fin de responder las incógnitas de la tabla XII.

La primera de postvalidación fue realizada en el Centro de Estimulación Integral y Apoyo Psicoterapéutico (CEIAP), a un estudiante de 3 años; la segunda, tercera y cuarta prueba se realizaron en la unidad educativa Claudio Neira Garzón a dos estudiantes de 10 y 7 años y a una profesora de 33 años respectivamente.

TABLA XI
RESULTADOS DE LAS FICHAS DE OBSERVACIÓN

Número de Prueba	¿El alumno comprende todas las consignas del dispositivo?	¿El alumno puede acceder a todas las funciones?	¿El dispositivo genera motivación por parte del alumno?
Prueba 1	Sí	Sí	Si
Prueba 2	Sí	Sí	Sí
Prueba 3	Sí	Sí	Sí
Prueba 4	Sí	Sí	Si

Al finalizar se consultó con el personal docente presente en las pruebas, si tenían sugerencias para el dispositivo, cuyas respuestas fueron:

En el centro educativo (CEIAP) una docente sugirió que en el botón que tiene la función de reproducir palabras con la letra formada, existan solo palabras que empiezan con esa letra, sin embargo, una docente de la Unidad Educativa Claudio Neira Garzón aseguró que le parecía conveniente que no solo tuviera palabras que empiecen por la letra formada si no también palabras que contienen la misma; por otro lado, la docente del CEIAP sugirió que debería existir una pausa entre cada palabra para que exista una correcta retroalimentación.

Una de la pruebas de funcionamiento se realizó en la Unidad Educativa Claudio Neira Garzón a una profesional con discapacidad visual la cual comento "*No tengo muchas sugerencias, porque generalmente cuando me muestran dispositivos de este tipo suelo tener muchas sugerencias, pero el dispositivo está muy bien*", sin embargo sugirió que el dispositivo debería tener dos simuladores de signo generador para formar los números y las letras mayúsculas, además de colocar un interruptor para cambiar de idioma español a inglés.

VIII. CONCLUSIONES

El desarrollo del dispositivo electrónico interactivo para aprendizaje de Pre-Braille orientado a personas con discapacidad visual *Braillet* ha sido realizado con éxito, el cual opera de manera correcta con sus funciones planteadas inicialmente, teniendo un fuerte impacto en el ámbito de inclusión social y educativo mediante el uso de un sistema embebido de característica interdisciplinar.

Gracias al trabajo interdisciplinario, el dispositivo final mantiene características que lo hacen innovador y favorece el proceso de aprendizaje, logrando que sea divertido e interactivo, según las observaciones de las docentes encargadas del apoyo en las pruebas finales; además de resultar

provechoso para el desarrollo de las personas con discapacidad visual.

Posterior a diversas mejoras y correcciones implementadas en *Braillet*, la comunicación entre sensores, interruptores, pulsantes, entre otros componentes hacia la tarjeta microprocesadora es efectuada de manera correcta con alta velocidad de respuesta y buena calidad de audio. Con esto, es posible recalcar que la intercomunicación entre Hardware y Software se ha logrado de manera satisfactoria. El uso de la tarjeta controladora Raspberry Pi 3 modelo B, ha proporcionado un potente sistema de procesamiento en el que se ha podido implementar las diversas funciones requeridas para que el dispositivo pueda ser ocupado en el área de enseñanza con comodidad y efectividad.

La carcasa de *Braillet* ha sido fabricada con el uso de elementos accesibles y robustos, a su vez, el material empleado resulta cómodo para la interacción con el tacto del usuario, además de haber sido diseñada con medidas y distribución de elementos sugeridas por el equipo pedagógico.

El desarrollo estructurado de la programación mantiene una correcta comunicación con el hardware; por tanto, el dispositivo final resulta satisfactorio de acuerdo a diversas opiniones de profesionales en el área de enseñanza del sistema Braille.

El porcentaje medio calculado de eficiencia de los botones de funciones del *Braillet* es de 86,81%. El porcentaje faltante para alcanzar el máximo de efectividad se debe a que los pulsantes empleados para este dispositivo son de características genéricas. Sin embargo, el porcentaje de eficiencia tanto del reconocimiento de caracteres como de la reproducción fonética para cada símbolo en todas las funciones es del 100%, ya que la interpretación mediante el Panel Simulador de Signo Generador es la correcta en cada prueba que ha sido realizada. Con esto se puede concluir que el dispositivo es altamente eficiente y puede ser empleado como herramienta en el área pedagógica mediante adaptaciones a diversos métodos de enseñanza.

IX. REFERENCIAS

- [1] I. D. T. EDUCATIVAS, «Modulo 5 :El sistema Braille,» de *EDUCACIÓN INCLUSIVA: discapacidad visual*, Madrid, FORMACION EN RED, 2015.
- [2] C. B. E. CBE, «LA DIDÁCTICA DEL BRAILLE MÁS ALLÁ DEL CÓDIGO,» Madrid, ONCE, 2015.
- [3] «Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades,» 11 Enero 2019. [En línea]. [Último acceso: 11 Enero 2019].

- [4] «Real Academia Española,» 2018. [En línea]. Available: www.rae.es.
- [5] OCHAITA, Lectura Braille y procesamiento de la información táctil, Madrid: Colección Rehabilitación, INSERSO, 1988.
- [6] B. E. d. l. Fuente, EL BRAILLE EN LA ESCUELA, Madrid: Carácter, S.A. Fdez de la Hoz, 60. Madrid.
- [7] C. B. E. CBE, Escritura con la fuente Braille de la Comisión Braille Española, Madrid: ONCE, 2016.
- [8] F. B. D. URUGUAY, «FBU,» 1995. [En línea]. Available: www.fbu.edu.uy. [Último acceso: 11 05 2017].
- [9] J. M. G. Angulo, «agrega educación,» [En línea].
- [10] Micaela, «compuparadiscapacidadvisual,» 9 junio 2011. [En línea].
- [11] G. López y C. B. Española, «Braitico: método de la once para la alfabetización y competencia lectoescritora,» Revista digital sobre discapacidad visual, Madrid, 2017.
- [12] M. A. S. Martíl, «Braille, nuevas tecnologías y educación,» Revista digital sobre discapacidad visual, 2017.
- [13] M. J. Zaid Haron y A. Noraidah Sahari, «Braille tutorial model using braille fingers puller,» 2017 6th International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICEEI), 2018.
- [14] A. Md. Ehtesham, D. Noor Muhammad, J. Jafrina, C. Ahmed Masud y I. Mohammad Rezaul, «A cost effective electronic braille for visually impaired individuals,» 2017 IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference (R10-HTC), 2018.
- [15] G. Shreya, T. Bhaskar y J. Shreelal, «Braille Cell Actuator Based Teaching System for Visually Impaired Students,» 2016 IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT), 2017.
- [16] D. Ariruna, S. Dibyabiva, G. Anindita y N. Asoke, «Real Time Sign Language to Braille Interfacing System,» 2017 7th International Conference on Communication Systems and Network Technologies (CSNT), 2018.
- [17] C. Hyun-cheol, K. Byeong-sang, P. Jung-jun y S. Jaebok, «Development of a Braille Display using Piezoelectric Linear Motors,» 2006 SICE-ICASE International Joint Conference, 2007.
- [18] J. A. A. Pauta, E. P. Vélez y L. Serpa-Andrade, «Braille Teaching Electronic Prototype,» 2016 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC), 2017.
- [19] «Garcillanosa, Apuyan, Klixon Nylle, Arro, Aldrinne M. y Ascan, Giovanni G.,» Audio-Assisted Standalone Microcontroller-Based Braille System Tutor for Grade 1 Braille Symbols, p. 2016, Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC), 2016 IEEE.
- [20] J. P. R. C. Katherin Duarte, «Design and construction of a device for facilitating the learning of Braille literacy system,» Cali, 2016.
- [21] I. d. t. educativas, «Educación Inclusiva. Personas con discapacidad visual, Módulo 10 :Tiflotecnología,» Ministerio de Educación.
- [22] M. E. Álvarez Solís y R. A. Sumba Songor, «plan educativo para la iniciación del aprendizaje del sistema Braille mediante metodología TIC, dirigido a niños de 4 a 6 años de la unidad de educación especial Claudio Neira Garzón,» Universidad del Azuay, Cuenca, 2018.
- [23] «Supermagnete,» [En línea]. [Último acceso: Septiembre 2017].