

**VALIDACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA APOYAR EL APRENDIZAJE Y LA
ENSEÑANZA DEL SISTEMA BRAILLE**

MARIA CAMILA HERNÁNDEZ OSPINA

Trabajo Dirigido

Tutor

Ingeniero Daniel Alejandro Quiroga Torres



**UNIVERSIDAD DEL ROSARIO
ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO
PROGRAMA DE INGENIERÍA BIOMÉDICA
BOGOTÁ D.C
2020**

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi familia por estar presente en cada paso de esta etapa, a mis padres que con su esfuerzo se han encargado de brindarme la oportunidad de seguir mis sueños y me han motivado a continuar creciendo en cada área de mi vida. A mi hermano que con su sencillez, honestidad y tranquilidad me ayuda a enfocarme en lo realmente importante.

Le agradezco a mi amor que es mi mejor amigo, mi compañero estudio y la persona que siempre cree en mí, gracias por siempre estar dispuesto a ayudarme y acompañarme en el proceso de cumplir mis metas.

Agradezco también a mi asesor de tesis el Ingeniero Daniel Quiroga, por haberme brindado su apoyo, tiempo y paciencia para la elaboración del proyecto. Siempre dispuesto a compartir su conocimiento, hizo que este proceso fuera un espacio de aprendizaje continuo y gracias a esto pude encontrar un nuevo enfoque para mi vida profesional. De igual manera agradezco a Hernan Bernal que fue un gran apoyo en el diseño CAD del dispositivo de mi proyecto.

RESUMEN

Un tercio de la población a nivel mundial sufre de discapacidad visual, esta cifra es aproximadamente 2.200 millones de personas sin tener en cuenta que existen individuos que no han sido diagnosticados a causa de diversas razones que incluyen la falta de acceso a salud o que se encuentran en territorios fuera del alcance del sistema de censo de cada país.

Actualmente en Colombia la cifra de personas con discapacidad visual asciende a 551.764 personas lo cual trae implicaciones en diferentes aspectos sociales. Uno de los mayores retos a los que se enfrenta el país es la alfabetización de esta comunidad, teniendo en cuenta que para llevar a cabo este proceso es necesario el uso del sistema de lectoescritura Braille.

Las herramientas actualmente disponibles en el área de la educación para personas con discapacidad visual están limitadas, no solo por su precio pero también por su baja distribución a nivel mundial, especialmente en países latinoamericanos. Esto se puede ver reflejado en la alta tasa de analfabetismo en la población que sufre de discapacidad visual y que por ende conlleva a una alta tasa de desempleo.

Es así como surge este proyecto que tiene como objetivo validar un dispositivo con realimentación auditiva el cual sirva como herramienta de apoyo en el aprendizaje y enseñanza del Braille para personas con discapacidad visual. Para esto, se planteó una metodología que se basa en cinco etapas divididas en: revisión literaria, especificación de parámetros, diseño y construcción del dispositivo, desarrollo de la plataforma virtual y verificación del sistema en conjunto (software y hardware).

Los resultados obtenidos fueron una plataforma web completamente funcional a la que se conecta un dispositivo que contiene el signo generador de la matriz Braille, que al ser accionado genera realimentación auditiva incorporada en la página web correspondiente. Las partes externas del dispositivo se obtuvieron por medio de impresión 3D en un material biodegradable que no genera contaminación para el medio ambiente y que adicionalmente es de bajo costo.

Se obtuvo un valor de 99% de exactitud y de 100% de precisión por lo cual se establece que el dispositivo, permite generar todos los símbolos que se encuentran en el abecedario del sistema Braille definido para el español de Colombia.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	8
2. OBJETIVOS	11
2.1. General.....	11
2.2. Específicos	11
3. ESTADO DEL ARTE	12
3.1. Herramientas Lúdicas.....	12
3.2. Herramientas Táctiles.....	12
3.3. Herramientas Electrónicas.....	13
3.4. Conclusiones	13
4. REVISIÓN LITERARIA	14
4.1. Resultados de la revisión.....	15
5. MÉTODO DE ENSEÑANZA BRAILLE	18
5.1. Fases del método	18
5.1.1. Habilidades previas	19
5.1.2. Pre-Braille.....	19
5.1.3. Braille	19
5.1.4. Braille formal.....	19
6. METODOLOGÍA.....	21
6.1. Primera etapa: revisión literaria	21
6.2. Segunda etapa: parámetros	21
6.3. Tercera etapa: construcción del dispositivo	23
6.4. Cuarta etapa: desarrollo web.....	25
6.4.1. Diseño y construcción del sitio web	26
6.5. Quinta etapa: verificación del sistema.....	27
7. RESULTADOS	29
7.1. Dispositivo	29
7.2. Sitio web.....	30
7.3. Pruebas de verificación	34
8. DISCUSIÓN.....	36
9. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	37
10. CONCLUSIONES	38
REFERENCIAS	39
ANEXOS.....	42

Anexo 1. Tabla de revisión bibliográfica de artículos aceptados.....	42
Anexo 2. Diagrama de Gantt	55

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Fig. 1. Abecedario en sistema Braille en el idioma español [7].....</i>	<i>9</i>
<i>Fig. 2. Signos de puntuación en sistema Braille [7].....</i>	<i>9</i>
<i>Fig. 3. Actividades por fase del método de aprendizaje Braille.</i>	<i>18</i>
<i>Fig. 4 Distribución espacial de las medidas del sistema Braille [34].</i>	<i>22</i>
<i>Fig. 5. Diseño del dispositivo en Autodesk Inventor.</i>	<i>23</i>
<i>Fig. 6. Esquema eléctrico del dispositivo.</i>	<i>24</i>
<i>Fig. 7. Diagrama de bloques de la solución.</i>	<i>26</i>
<i>Fig. 8. Diseño del signo generador de (a) lectura y (b) escritura.</i>	<i>27</i>
<i>Fig. 9. Protocolo de verificación del dispositivo y la plataforma web.</i>	<i>28</i>
<i>Fig. 10. Estructura física del dispositivo.</i>	<i>29</i>
<i>Fig. 11. Piezas removibles del dispositivo.....</i>	<i>30</i>
<i>Fig. 12. Cabecera de la página web de inicio.....</i>	<i>30</i>
<i>Fig. 13. Sección principal de la página web fase 1: Habilidades Previas.....</i>	<i>31</i>
<i>Fig. 14. Sección principal de la página web fase 2: Pre-Braille.</i>	<i>32</i>
<i>Fig. 15. Sección de recursos de la página web fase 2: Pre-Braille.</i>	<i>32</i>
<i>Fig. 16. Signo generador de lectura y escritura del sistema Braille fase 3: Pre-Braille.</i>	<i>33</i>
<i>Fig. 17. Signo generador de lectura y escritura del sistema Braille fase 4: Braille formal.</i>	<i>34</i>
<i>Fig. 18. Letra “a” en sección de lectura y escritura.....</i>	<i>34</i>

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Dimensiones de la celda Braille para el idioma español [33].</i>	22
<i>Tabla 2. Dimensiones de la celda Braille establecidas para el dispositivo.</i>	22
<i>Tabla 3. Explicación de organización de los conceptos de VP, VN, FP y FN [46].</i>	28
<i>Tabla 4. Resultados de datos VP, VN, FP y FN.</i>	35
<i>Tabla 5. Valores calculados de exactitud y precisión.</i>	35

1. INTRODUCCIÓN

Se identifica como una persona con discapacidad aquella que presenta deficiencias mentales, físicas, intelectuales o sensoriales, que al interactuar con diferentes barreras, pueden impedir su participación plena y efectiva en la sociedad [1]. Específicamente, las personas con discapacidad visual sufren de una alteración parcial o total en el sentido de la vista, la cual genera limitaciones en la persona para llevar a cabo actividades de forma autónoma [2].

La Organización Mundial de la Salud (OMS) en el informe sobre visión “World report on Vision” de octubre del 2019 [3], revela que al menos 2.200 millones de seres humanos tienen una discapacidad visual o ceguera, esto es, un tercio de la población mundial. De esta cifra, 76 millones de personas sufren de glaucoma, 2.5 millones sufren de triquiasis tracomatosa, 146 millones padecen de retinopatía diabética y 195.6 millones tienen degeneración macular. Particularmente, en Colombia, según el Departamento Administrativo Nacional De Estadística (DANE) en el informe “Población con registro para la localización y caracterización de las personas con discapacidad” de marzo del 2010, 857.132 personas se encuentran en condición de discapacidad de las cuales 126.814 sufren de discapacidad visual [4]. En un estudio realizado por la misma entidad en el 2018, se reportaron 3'065.361 personas en condición de discapacidad de las cuales 551.764 sufren de algún tipo de discapacidad visual. Los departamentos con mayor número de personas con discapacidad visual son Antioquia, Cundinamarca, Valle del Cauca, Nariño y Santander [5].

Como se puede inferir, el número de personas en condición de discapacidad, más específicamente visual, ha aumentado. Esto ha causado la necesidad de crear herramientas alternativas para combatir la barrera del acceso a la educación de esta población.

Con respecto a lo anterior, se hace relevante la exploración de la cifra sobre la cantidad de personas analfabetas en Colombia. Aproximadamente el 4% de la población es analfabeta esto equivale a 2.7 millones de personas en el país y se estima que en la población en condición de discapacidad es el 14.2% [5]. Adicionalmente y como consecuencia, para el año 2015 la tasa de desempleo para la población con discapacidad visual fue del 62%. En un estudio realizado por la Universidad La Gran Colombia se identifica que el mayor obstáculo para la inclusión laboral de las personas con esta discapacidad es su nivel educativo y que la experiencia no es un factor decisivo [6].

Como método de alfabetización para personas con discapacidad visual surge el Braille; un sistema de lectoescritura inventado por Luis Braille a mediados del siglo XIX en el cual cada letra se representa en una matriz de 2 x 3 puntos, las letras son formadas por diferentes combinaciones de puntos [7]. La lectura Braille es táctil y móvil, es un sistema en el que se lee con los dedos de las dos manos, principalmente con los dedos índices y se propicia por el movimiento de estos [8]. La escritura se genera formando las diferentes combinaciones de puntos de acuerdo a los patrones establecidos y se realiza dependiendo de la herramienta de escritura a usar.

Adicionalmente, Dependiendo del idioma se cuentan con diferentes alfabetos del sistema Braille. Para el caso de Colombia se cuenta con el alfabeto completo en español, entre los que están letras, números y signos de puntuación. Los estándares de este sistema fueron establecidos por la Comisión Braille latinoamericana (CBL) y la Unión Latinoamericana de ciegos (ULAC) (ver fig. 1,2) [9].

Actualmente existen métodos para el aprendizaje del Braille (Alborada, Pérgamo, Tomillo, etc.) la diferencia entre estos radica en el enfoque etario. Adicionalmente se debe

tener en cuenta si el alumno es una persona alfabetizada o no. Cada método presenta beneficios y es por esto por lo que la Comisión de Braille Española (CBE) propone un método dividido en cinco fases: alfabetización, habilidades previas a la enseñanza formal del Braille, Prebraille, Braille formal y Braille como instrumento. Este método daría respuesta a las necesidades de cualquier alumno que desee aprender Braille, sin importar su edad o su nivel académico [10].

a (1)	⠁	j (245)	⠵	r (1235)	⠗
b (12)	⠃	k (13)	⠅	s (234)	⠎
c (14)	⠉	l (123)	⠇	t (2345)	⠞
d (145)	⠑	m (134)	⠍	u (136)	⠚
e (15)	⠑	n (1345)	⠝	v (1236)	⠘
f (124)	⠑	ñ (12456)	⠞	w (2456)	⠜
g (1245)	⠑	o (135)	⠏	x (1346)	⠞
h (125)	⠑	p (1234)	⠏	y (13456)	⠞
i (24)	⠁	q (12345)	⠑	z (1356)	⠞

Fig. 1. Abecedario en sistema Braille en el idioma español [9].

, comma	(2)	⠂
; semicolon	(23)	⠒
: colon	(25)	⠒
. period, full stop	(3)	⠂
¿...? question mark	(26...26)	⠗⠕⠑⠗⠑⠎⠗⠑⠎⠗⠑⠎
¡...! exclamation mark	(235...235)	⠗⠕⠑⠗⠑⠎⠗⠑⠎
' apostrophe	(3)	⠂
"...", «...» quote	(236...236)	⠗⠕⠑⠗⠑⠎⠗⠑⠎
(...) parentheses	(126...345)	⠗⠕⠑⠗⠑⠎⠗⠑⠎
* asterisk	(35)	⠂
... ellipsis	(3, 3, 3)	⠂⠂⠂
- hyphen	(36)	⠂
— dash	(36, 36)	⠂⠂
/ slash	(6, 2)	⠂⠂
capital indicator	(46)	⠂
number indicator	(3456)	⠂

Fig. 2. Signos de puntuación en sistema Braille [9].

Este sistema les permite a personas con discapacidad visual acceder a educación e información [11]. Adicionalmente, este sistema es utilizado en diversas actividades cotidianas tales como la toma de notas, el uso de electrodomésticos, el etiquetado de elementos, entre otros [12]. La alfabetización Braille incrementa la probabilidad de obtener empleo, favorece la expresión y comunicación y brinda autonomía personal [13].

Actualmente en Colombia existen instituciones especializadas en la enseñanza del sistema de lectoescritura Braille que, principalmente se enfocan en capacitar a personas

profesionales de la salud o maestros para acercarlos a las técnicas utilizadas por las personas con discapacidad visual. El instituto Nacional para Ciegos INCI brinda cursos y talleres de Braille gratuitos únicamente en Bogotá lo cual genera inconvenientes para las personas que viven fuera de esta área [14].

En el país, el INCI ha promovido el uso del Braille en distintos ámbitos. Entre ellos, se encuentra la creación de tarjetones electorales en Braille, calendarios institucionales, paradas de SITP traducidos al sistema, plantillas lectoras de billetes las cuales permiten establecer su denominación y la creación de señalización (ubicación de baños, salidas, oficinas) en entidades privadas y públicas [15].

Por lo anterior, es fundamental incentivar el aprendizaje del Braille, que puede ser complementado con herramientas de audio tales como aplicaciones con comando de voz, audio-libros, dispositivos para la descripción de objetos, entre otros. Cabe resaltar que la principal desventaja de estas tecnologías se basa en que, aunque se escuchan las palabras, no se adquiere el conocimiento de cómo se escriben y es por esto por lo que no se debe reemplazar el uso del Braille [16].

Es así como surge este proyecto que busca proveer una herramienta de apoyo en el proceso de aprendizaje del sistema Braille y con esto facilitar el acceso a educación para la población con discapacidad visual en Colombia, así como también facilitar el desarrollo de una vida cotidiana con mayor independencia. La herramienta propuesta se basa en el funcionamiento en conjunto de un dispositivo con conexión inalámbrica (Wifi) y un sitio web que brinda realimentación visual y auditiva.

2. OBJETIVOS

2.1. General

Validar un dispositivo con realimentación auditiva, que apoye el proceso de enseñanza y aprendizaje de las letras, número y signos de puntuación en el sistema Braille.

2.2. Específicos

- a) Diseñar y construir un dispositivo que permita la configuración de símbolos para la construcción de letras, números y signos de puntuación en el sistema Braille.
- b) Generar un sistema de realimentación auditiva de los símbolos configurados en el dispositivo para el apoyo de la enseñanza del sistema Braille.
- c) Implementar una plataforma web que permita una comunicación bidireccional entre el dispositivo y la página web.
- d) Validar que el dispositivo sea capaz de reconocer correctamente los símbolos del sistema Braille con una precisión mínima del 95%.

3. ESTADO DEL ARTE

Ante la necesidad de alfabetización por medio del Braille, han surgido a lo largo de los años herramientas que facilitan el aprendizaje y la enseñanza de este sistema. A continuación, se presentan las principales tecnologías disponibles en el mercado.

3.1. Herramientas Lúdicas

Como estrategia dinámica para el aprendizaje del Braille, se han desarrollado juegos que se enfocan en la enseñanza del abecedario de este sistema. Entre ellos están los lego Braille Bricks que ofrecen una alternativa didáctica y atractiva para la enseñanza a niños y aunque actualmente no es posible adquirirlos en Colombia, se estima que para el 2021 serán diseñados en once idiomas incluyendo el español para así ser distribuidos en países hispanohablantes [17].

Otro gran ejemplo, es el dispositivo de aprendizaje Braille inteligente Taptilo, el cual incluye un dispositivo hardware y una aplicación con interacción auditiva. Este dispositivo cuenta con diferentes juegos y niveles. Aún no se encuentra disponible en el idioma español y su valor es de 1.400 US [18].

3.2. Herramientas Táctiles

Las herramientas manuales han tenido un papel relevante en el aprendizaje del sistema Braille principalmente debido a que, en comparación con otras herramientas de enseñanza para personas con discapacidad visual, son de bajo costo y es lo que se facilita su adquisición [19].

El principal representante de este grupo es la regleta Braille, la cual es un Instrumento que facilita la escritura del sistema en donde los puntos se escriben en relieve. Suele estar fabricada en plástico o metal y está conformada por dos láminas unidas mediante bisagras junto con un punzón. Existen dos tipos de regletas Braille, positivas y negativas; las regletas negativas son las más comunes comercialmente, en estas la lámina superior se conforma por cajas rectangulares vacías y la inferior posee rectángulos con seis agujeros correspondientes a la matriz del símbolo generador Braille. Para hacer uso de este instrumento, se coloca el papel entre las dos láminas y punteando la hoja con el punzón se van formando las diferentes combinaciones de puntos que dan origen a las letras del sistema Braille. Esta escritura debe ser realizada de derecha a izquierda debido a que los puntos quedan marcados hacia abajo, de tal manera que cuando se de vuelta a la hoja, se pueda leer el escrito de izquierda a derecha [20].

En las regletas positivas, la lámina superior contiene las celdas Braille vacías y la lámina inferior contiene la matriz con los puntos del sistema Braille marcados hacia arriba. La principal diferencia con las regletas convencionales negativas, es que los puntos están marcados en relieve y el punzón en vez de terminar en punta, posee una oquedad cóncava. De esta manera es posible escribir de izquierda a derecha (igual que como se lee) ya que no se requiere dar vuelta a la hoja [21]. Su costo varía entre 15 US y 80 US.

Una herramienta usada específicamente para la lectura en el proceso de alfabetización, es la impresión Braille. Esta permite acceder a libros, volantes, facturas, letreros, empaques de medicamentos, entre otros. Enfocándose en la educación, se han traducido textos y literatura académica que se encuentran disponibles en el país para su compra en el INCI, y su préstamo en la Biblioteca Nacional de Colombia. Cabe resaltar que existen empresas

dedicadas al servicio de impresión en Braille de cualquier tipo de textos y que el valor de la impresión varía dependiendo del material deseado [22].

3.3. Herramientas Electrónicas

Los principales representantes del grupo de herramientas electrónicas son las líneas o pantallas Braille. Estos dispositivos de hardware se conectan a un computador y cumplen la función de traducir el texto que se encuentra en la pantalla del ordenador a Braille. Este tipo de dispositivos tienen como objetivo reflejar fielmente la pantalla del computador para que así la persona con discapacidad visual tenga un mayor acercamiento al uso de esta tecnología. Gracias a las pantallas o líneas Braille, las personas con discapacidad visual tienen la oportunidad de acceder a información, comunicarse por medio de internet, redactar documentos y acceder a textos educativos [23]. El precio de estos dispositivos varía entre 1.000 US para líneas Braille de 18 caracteres y 50.000 US para pantallas de media página.

Otro de los mayores desarrollos tecnológicos son las tabletas Braille, más específicamente la Blitab, que es una tableta Android que permite la navegación por medio del uso de texto y voz. Esta pantalla contiene líquido inteligente que se convierte en burbujas formando el código Braille para traducir el texto. Adicionalmente, puede desplegar gráficos táctiles y cuenta con la opción de importar documentos vía web y vía USB. El valor de la Blitab es de aproximadamente 500 US [24].

La mayor ventaja de estas herramientas es que permiten el acceso a gran variedad de textos y no requiere de la impresión física de estos para su lectura. Entre las desventajas que presentan frente a la lectura impresa en papel se encuentra la velocidad de lectura, siendo esta más baja en las líneas y tabletas Braille ya que la superficie de lectura es menor y además se debe estar actualizando para generar la siguiente línea de lectura [25].

3.4. Conclusiones

Teniendo en cuenta la información sobre las herramientas existentes actualmente, se pueden rescatar varios aspectos importantes; el primero de ellos es que los dispositivos electrónicos más sofisticados existentes en el mercado son difíciles de adquirir, principalmente por su alto costo y además porque no todos están disponibles en el país.

El segundo gran aspecto a resaltar es que los sistemas y dispositivos mencionados no siguen una metodología de enseñanza establecida. Se enfocan en promover el autoaprendizaje en el cual se requiere tener previamente altos conocimientos en Braille o contar con la asistencia de una persona que los tenga.

4. REVISIÓN LITERARIA

Debido a las dificultades en la obtención de herramientas para el proceso de aprendizaje y enseñanza del sistema Braille, han surgido proyectos enfocados en disminuir el costo y facilitar el acceso a este tipo de herramientas.

Con el propósito de conocer los desarrollos que se han logrado a nivel mundial, se realizó una revisión literaria con búsqueda sistemática con la ayuda de la base de datos bibliográfica *Scopus* [26]. En primer lugar, se establecieron tres grupos de palabras clave para la búsqueda de artículos:

1. **Discapacidad:** *blind people*, personas ciegas, *visually impaired people*, discapacidad visual.
2. **Alfabetización:** Braille, *written language*, Sistema de lectoescritura.
3. **Herramientas:** dispositivos, *devices*, *assistive technologies*, tecnologías de asistencia, *auditory feedback*, realimentación auditiva.

Se hizo la búsqueda individual de cada grupo de palabras clave y después se realizó la combinación de los resultados de los 3 grupos, lo cual arrojó 223 artículos en total. Seguido a esto, se establecieron criterios de inclusión y exclusión para seleccionar los artículos útiles en esta investigación.

- **Criterios de inclusión:**

1. Dispositivos usados en personas con discapacidad visual para el aprendizaje o enseñanza del sistema Braille.
2. Documentos en idioma inglés o español.
3. Dispositivos no invasivos.
4. Tecnología de asistencia o aprendizaje.
5. Únicamente para personas que su única afectación sea la visual, no para personas sordociegas.
6. Documentos desde el año 2005 en adelante.

- **Criterios de exclusión:**

1. Herramientas diagnósticas.
2. Componentes individuales de un dispositivo o herramienta.
3. Dispositivos quirúrgicos.
4. Dispositivos de apoyo para la movilidad de personas con discapacidad visual.
5. Dispositivos que apliquen electroestimulación o vibración.
6. Documentos que resuman los artículos presentados en conferencias.

Aplicando los criterios previamente expuestos, se obtuvieron 63 artículos aceptados que fueron revisados y analizados a profundidad con el fin de conocer las necesidades que existen para la comunidad de personas con discapacidad visual en la alfabetización Braille, tanto a nivel mundial como nacional, y qué tecnologías han sido desarrolladas para suplir estas necesidades.

En el proceso de revisión de los artículos aceptados se determinó extraer información específica de cada uno de ellos con el fin de obtener datos relevantes y facilitar así la comprensión de estos. En el [anexo 1](#) se muestran todos los títulos de los artículos aceptados con información sobre los elementos que se usaron para construir las

tecnologías (hardware) así como también las herramientas de programación (software) para darle funcionalidad a los desarrollos. Además, se extrajo el objetivo general de cada uno de los artículos y se redactaron conclusiones en base a las pruebas realizadas y los resultados obtenidos.

4.1. Resultados de la revisión

El principal desarrollo que se busca en los proyectos es la construcción de celdas Braille de bajo costo. Estas celdas permiten a la persona con discapacidad visual realizar actividades como leer un libro, tener acceso a herramientas electrónicas, comunicarse por mensajes de texto, entre otros.

Para disminuir los costos, se han buscado alternativas a los materiales y tecnologías para la construcción de las celdas. Un gran ejemplo de esto es el uso de accionamiento electromagnético por medio de solenoides que integrados en un sistema logran el funcionamiento de una celda Braille. Este sistema se basa en explotar el campo magnético generado por el solenoide y con este mover una barra ferromagnética que está equipada con un resorte circundante. Así, se diseña la matriz 3x2 del sistema Braille con 6 barras. Teniendo en cuenta el costo de los materiales, se logró disminuir el valor de una celda Braille de aproximadamente 2000 US a 42.74 US [27].

En la Universidad de Corea localizada en Seúl, el departamento de ingeniería mecánica logró desarrollar una línea Braille haciendo uso de motores lineales piezoeléctricos, con el fin de lograr una herramienta portátil, de bajo costo y que fuera útil para la traducción simultánea desde un computador. Las celdas Braille fueron construidas con motores lineales piezoeléctricos siendo estos los principales actuadores del sistema teniendo características relevantes para el proyecto. La principal característica de los motores es su composición; poseen material elástico y piezoeléctrico, un eje y una pre-prensa. El funcionamiento de los puntos de las celdas Braille se basó en la deformación vertical positiva del material piezoeléctrico que se da debido a la presencia de voltaje y que así mismo, cuando se corta la transmisión de voltaje se produce una fuerza de restauración en el material elástico provocando el desplazamiento vertical negativo [28].

Cada celda Braille contiene seis motores lineales piezoeléctricos que se ajustan dentro del diseño del marco exterior en forma de caja rectangular. La línea Braille está conformada por cinco celdas y está conectada con un tablero controlador que se encarga de la comunicación y programación del sistema. Como resultado después de las pruebas con siete personas con discapacidad visual, se obtuvo una herramienta que cumple la función de traducción y que puede ser utilizada en diversas aplicaciones tales como la enseñanza de palabras en el sistema Braille en el idioma coreano. Así mismo, se encontró que las personas que hicieron parte de las pruebas describieron la superficie de los puntos como dura y por ende esto dificulta el uso prolongado de la línea Braille [28].

Otro gran enfoque, son las aplicaciones para dispositivos móviles que permiten que el usuario con discapacidad visual interactúe con estas herramientas, pero también que pueda acceder a información, comunicación y educación. Se han explorado diversos diseños como métodos de entrada para dispositivos móviles entre ellos se incluye el novedoso diseño que solo requiere 3 dedos para su uso. Este método se determinó que era eficiente, por medio de la velocidad de palabras por minuto que los participantes realizaron, y con un bajo error, realizando el cálculo de la tasa de error para cada participante [29].

Se estableció que, aunque no es difícil de aprender, las personas que lo usen deben tener un alto conocimiento en el sistema Braille. Los participantes tuvieron varias sesiones de entrenamiento y se identificó que después de aprendido el método, la velocidad de

ingreso de palabras era significativamente mayor y el error calculado para el sistema fue de 19.29% que, aunque no es ideal, fue bajo [29].

Otra aplicación de los métodos de entrada para dispositivos móviles es facilitar el uso de aplicaciones diseñadas para el aprendizaje y enseñanza del sistema Braille. Existen aplicaciones como *BrailleApp* que contiene un menú con diferentes funcionalidades tales como un traductor de Braille a portugués y viceversa, ejercicios de escritura, una lista de señales y una guía de referencia. Esta aplicación funciona únicamente para Android y ha sido evaluada por personas con discapacidad visual. Una de las mayores ventajas de esta aplicación es que brinda una herramienta de bajo costo que puede ser obtenida fácilmente y que en el futuro puede ser mejorada introduciendo un método de aprendizaje más estructurado. *BrailleApp* requiere de asistencia de una persona vidente no necesariamente experta en el sistema Braille, que brinde soporte en el uso de la aplicación. Es útil para adquirir los primeros conocimientos en el sistema Braille asociados al idioma portugués [30].

Continuando con la búsqueda de la economía en la construcción de tecnologías que ayuden al uso de herramientas electrónicas para personas con discapacidad visual, se desarrolló el software llamado "Virtual Keypad". El algoritmo fue desarrollado en el lenguaje de programación Java y se pretende ser usado como software para computador. El funcionamiento de virtual Keypad se basa en el uso del teclado tradicional que poseen los computadores, específicamente el teclado numérico, para hacer una entrada Braille. Las teclas que se usan son las teclas de los números 1, 2, 4, 5, 7 y 8 para formar la matriz 2x3 de una celda Braille [31].

El software diseñado requiere que el usuario posea conocimientos previos del sistema Braille, pero también brinda beneficios evidenciados principalmente en el costo ya que no se requiere adquirir una tecnología adicional al computador. Además, puede ser usado para cualquier idioma ya que los teclados tradicionales poseen la misma distribución de las teclas para los números. Cabe resaltar que este software genera la necesidad de poseer un teclado en el que el panel de las teclas de los números esté separado de las teclas de las letras, es decir, no funciona con los teclados de los computadores portátiles [31].

Aplicando el concepto del uso del teclado tradicional del computador como método de entrada Braille para interactuar con el mismo, se desarrolló un software para el aprendizaje y enseñanza de música para niños y adolescentes con discapacidad visual llamado "Musibraille". El software está diseñado para llevar un programa de aprendizaje en el cual se genera conocimiento en la escritura de las notas musicales y así mismo se entrena en el uso de instrumentos simulados tales como el piano [32].

Musibraille contiene juegos que facilitan la interacción con los niños y adolescentes y que adicionalmente, es de gran utilidad para los maestros que no tienen conocimiento en la enseñanza de un nuevo saber a personas con discapacidad visual. Para el uso del programa los alumnos y maestros no requieren tener un alto nivel de experiencia en el sistema Braille ya que el programa cuenta con realimentación auditiva y visual [32].

Por otra parte, en la Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador, el grupo de Investigación en inteligencia artificial y tecnologías de asistencia, desarrollaron un prototipo electrónico para la enseñanza del Braille. Este dispositivo se divide en tres partes, el sistema mecánico, el sistema electrónico y el desarrollo de una App. Se constituyó un dispositivo que contiene la matriz 3x2 de puntos que forman el signo generador Braille, botones que le permiten al usuario escoger los entrenamientos y cambiar la secuencia entre ellos, y un botón que permite la conexión con la aplicación Android. Adicionalmente, el dispositivo cuenta con altavoces para realimentación auditiva que facilita el reconocimiento de los caracteres [33].

El prototipo fue probado con cinco personas con discapacidad visual que tienen un conocimiento básico en Braille, y como resultado tuvo una alta aceptación. Se determinó que el método de aprendizaje Bliseo presenta ventajas significativas para el objetivo del prototipo ya que brinda un método efectivo para sumergirse en el proceso de aprendizaje del sistema Braille. La aplicación para dispositivos móviles diseñada complementa el método de aprendizaje mencionado ya que registra los avances del estudiante y le permite al evaluador identificar las falencias para así tomar acción y reforzar en los aspectos requeridos [33].

5. MÉTODO DE ENSEÑANZA BRAILLE

Para tener una mejor comprensión de esta sección, es importante tener en cuenta que el método, en este caso, es el conjunto de materiales que se utilizan para conseguir la enseñanza del Braille y por ende la alfabetización.

Debido a sus características, se implementa un método de enseñanza basado en el análisis de teoría y de prácticas educativas, que se realiza en el estudio de la Comisión Braille Española (CBE), titulado “La didáctica del Braille más allá del código. Nuevas perspectivas en la alfabetización del alumnado con discapacidad visual”. Cabe resaltar que esta propuesta fue modificada y ajustada a las necesidades de este trabajo de investigación [10].

5.1. Fases del método

El objetivo del método propuesto es ofrecer un recurso para personas con discapacidad visual sin importar en qué nivel de conocimiento en Braille se encuentren. Esto quiere decir que las fases expuestas a continuación, siguen las etapas por las que pasa un individuo que se alfabetiza en Braille y, por lo tanto, se puede ingresar a alguna de estas de acuerdo con el perfil de la persona.

El método propuesto busca potenciar habilidades en los estudiantes tales como las destrezas auditivas, el desarrollo motriz y el desarrollo del lenguaje. La percepción táctil y la coordinación de las dos manos son unos de los factores a los que deben ser motivados los estudiantes, esto facilitará el proceso de aprendizaje del Braille [34].

Es importante que, en lo posible, el estudiante esté rodeado de elementos etiquetados con el sistema Braille para que así, pueda estar en constante interacción con este y no únicamente a través de la herramienta desarrollada. Se diseñó la figura 3 para explicar visualmente el método usado. Así mismo se presentan las actividades desarrolladas en cada fase.

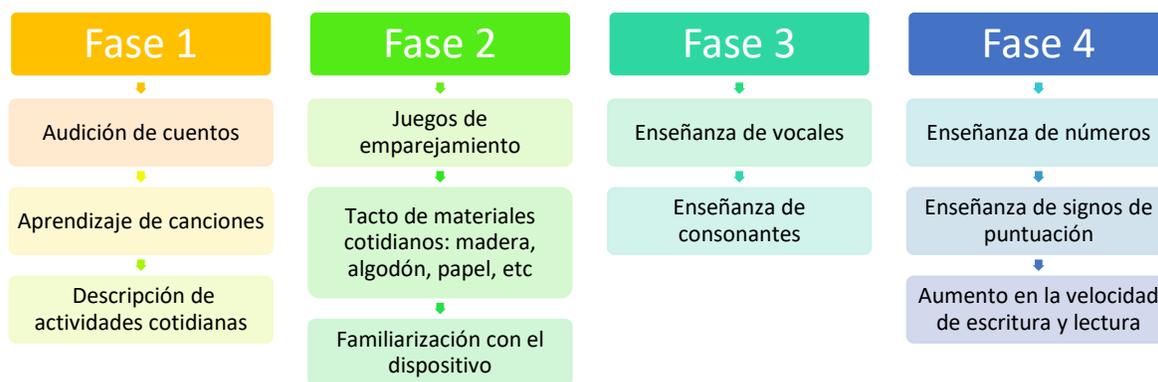


Fig. 3. Actividades por fase del método de aprendizaje Braille.

5.1.1. Habilidades previas

Esta fase va dirigida a cualquier persona que sea completamente nueva en el aprendizaje del sistema Braille, en esta se busca preparar al alumno para desarrollar habilidades auditivas tales como la discriminación de sonidos, la asociación de sonidos con objetos, la capacidad de retener información a estímulos verbales (memoria auditiva) y la capacidad de generar un estado de alerta ante sonidos desconocidos. Para esto, se recomienda establecer rutinas o actividades diarias que puedan ser desarrolladas por el estudiante con discapacidad visual, así como conocer cada uno de los elementos que hacen parte de la actividades realizadas. Los audiolibros son una herramienta de gran utilidad para esta fase ya que le permite al estudiante adquirir más vocabulario al escuchar textos más formales redactados de manera técnica [10].

5.1.2. Pre-Braille

Esta fase va dirigida a los estudiantes en proceso de alfabetización. Se busca que el estudiante se familiarice con el sistema de lectoescritura por medio del tacto, que use sus manos y dedos para sentir las superficies del sistema Braille. Se proponen actividades para desarrollar las destrezas motrices tales como juegos de clasificar por formas, emparejar figuras, entre otros.

Es necesario motivar a los estudiantes para que continúen en el proceso de aprendizaje y es por eso que se propone la construcción de juegos con materiales básicos como cartulina o foami, y hacer partícipes a los estudiantes en la construcción, ya que esto genera sentido de pertenencia con los elementos recreativos que van a manejar. En esta fase se hace el primer acercamiento al dispositivo, el estudiante podrá interactuar con este teniendo la oportunidad de tocar sus partes, quitar y poner los puntos de la matriz y con el demo poder armarlo [10].

5.1.3. Braille

Esta fase va dirigida a los estudiantes que se encuentran familiarizados y preparados para iniciar el aprendizaje formal del sistema Braille. Esta fase busca interiorizar la estructura espacial del signo generador, así como promover el uso de las dos manos en el aprendizaje del Braille. Las actividades por desarrollar inician con el aprendizaje de las vocales y seguido a esto las consonantes.

Para el aprendizaje de las letras, el estudiante cuenta con realimentación auditiva que lo guía en el proceso. Adicionalmente esta guía se mostrará en la plataforma web, que funciona en conjunto con el dispositivo, para ser verificada por la persona que cumple el papel de acompañante [10].

La persona que acompaña al estudiante en el uso de la herramienta no requiere tener conocimientos previos en la escritura y lectura del sistema Braille, pero si debe familiarizarse en el uso de la herramienta.

5.1.4. Braille formal

Esta fase va dirigida a los estudiantes que ya conocen el Braille y que quieren seguir aprendiendo más a fondo el sistema. En esta fase se busca que el estudiante aprenda los números, signos de puntuación y símbolos utilizados en el sistema Braille

en el idioma español. Además, se enfoca a que el estudiante pueda aumentar la velocidad de lectura y escritura del sistema [10].

6. METODOLOGÍA

Para dar inicio y continuidad al proyecto, se diseñó un diagrama de Gantt (ver [anexo 2](#)) con el propósito de organizar y segmentar las actividades que se requerían en cada etapa del desarrollo de la herramienta propuesta. De esta manera la metodología utilizada se encuentra dividida en cinco etapas las cuales tuvieron un tiempo y tareas específicos, a continuación se describe específicamente cada una de las etapas que fueron establecidas para el desarrollo de la herramienta.

6.1. Primera etapa: revisión literaria

Como primera actividad se realizó la revisión literaria pertinente, principalmente para hacer la exploración de la necesidad en dónde se investigó el estado de la problemática, la población afectada y las soluciones que se han desarrollado. Los resultados se pueden encontrar en el apartado [Revisión literaria](#). Así mismo, se determinaron factores relevantes para el diseño tanto del hardware como del software del dispositivo. Para el hardware fue importante establecer las dimensiones de las partes y sus componentes electrónicos y en cuanto al software se determinaron las herramientas y lenguajes de programación a usar.

Cabe destacar que esta etapa es de alta relevancia ya que permite dimensionar la situación del problema y establecer el impacto social que tiene el desarrollo que se logró. Así mismo fue posible entender las necesidades generales en las que se encuentran las personas con discapacidad visual particularmente en Colombia y lo que esto representa a nivel laboral, social y personal para esta comunidad y para el país.

6.2. Segunda etapa: parámetros

Existen parámetros que determinan la calidad de la celda Braille entre ellos se encuentran el diámetro y la altura de los puntos, la distancia entre los puntos de la matriz, la durabilidad de la celda, la dureza de la superficie, la tecnología que se utiliza para su construcción, entre otros. Estudios realizados con personas con discapacidad visual revelan que estadísticamente existen únicamente tres parámetros específicos que determinan la calidad de la celda Braille, estos son la altura de los puntos, el diámetro de los puntos y la dureza de la superficie [35]. La fig. 4 brinda una guía visual para interpretar correctamente las medidas espaciales y parámetros del sistema Braille.

Es así como se buscó cumplir con los parámetros principales teniendo en cuenta que las medidas correspondientes al sistema Braille varían dependiendo el país y el idioma. En la tabla 1, se muestran las medidas y rangos estandarizados para el idioma español según la Comisión Braille Española.

Las medidas determinadas para el dispositivo se muestran en la figura 4. La relación de las dimensiones establecidas para el dispositivo es de 1:12 teniendo en cuenta que se tomaron los valores mínimos mostrados en la tabla 2. Las dimensiones que aplican al diseño del dispositivo propuesto son las a,b,e y f ya que se realizó únicamente una celda Braille.

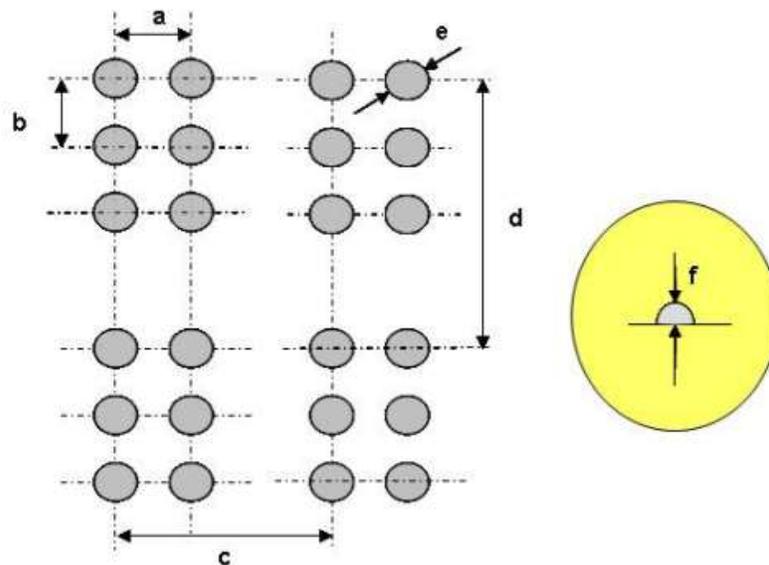


Fig. 4 Distribución espacial de las medidas del sistema Braille [36].

La dimensión establecida se debe a diferentes factores que influyen en el diseño, el primero de ellos es que el dispositivo se enfoca al aprendizaje y enseñanza de un sistema que, para muchos de los usuarios, es nuevo. Esto quiere decir que se debe brindar una herramienta fácil de manejar, resistente, amigable con el usuario y que pueda ser usada en las etapas primarias del método de enseñanza del Braille [37]. El segundo factor influyente en las medidas del dispositivo es el método de construcción implementado, que para este caso es la impresión 3D la cual no permite establecer medidas tan reducidas.

Tabla 1. Dimensiones de la celda Braille para el idioma español [36].

Dimensión	Valor mínimo (mm)	Valor máximo (mm)
a	2,4	2,75
b	2,4	2,75
c	6	6,91
d	10	11,26
e	1,2	1,9
f	0,2	0,5

Tabla 2. Dimensiones de la celda Braille establecidas para el dispositivo.

Dimensión	Valor (mm)
a	28,8
b	28,8
e	14,4
f	2,4

6.3. Tercera etapa: construcción del dispositivo

El diseño del dispositivo fue realizado en el software de diseño Autodesk Inventor y se tuvieron en cuenta las medidas determinadas en la etapa de requerimientos. En la figura 5 se muestra el diseño obtenido.

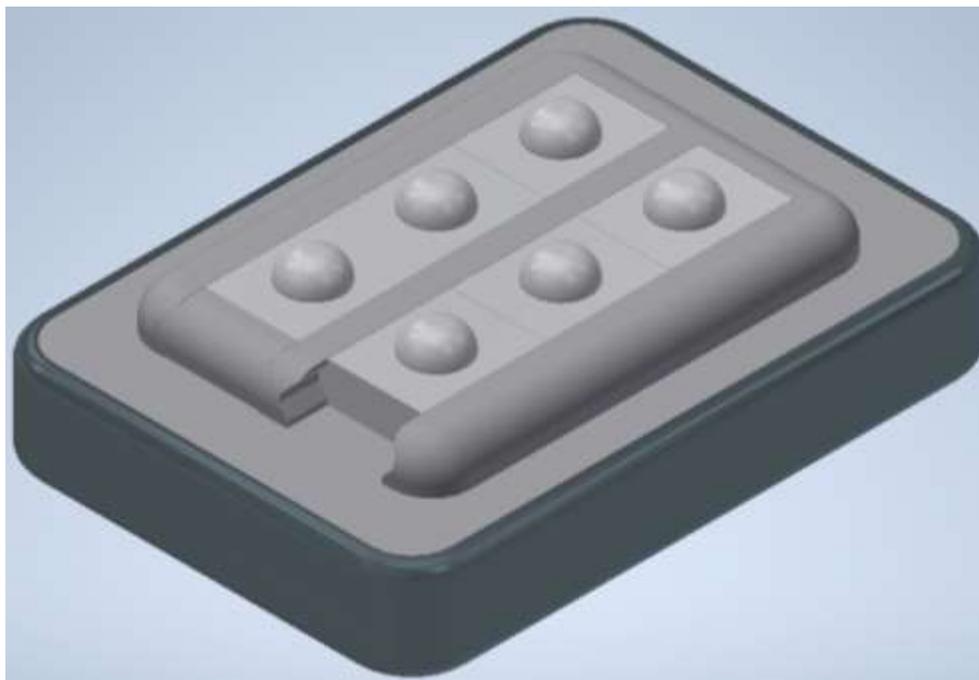


Fig. 5. Diseño del dispositivo en Autodesk Inventor.

El dispositivo fue desarrollado por medio de impresión 3D con material PLA (ácido poliláctico) y la impresora utilizada para este procedimiento fue la Ultimaker S3 de la universidad del Rosario que tiene un volumen de impresión de 230 x 119 x 200 mm [38].

El material utilizado para la construcción de la parte externa del dispositivo, el ácido poliláctico, más conocido como PLA es un termoplástico fabricado a base de almidón de maíz, caña de azúcar o raíces de tapioca. Es uno de los materiales más atractivos en el área de la investigación de materiales termoplásticos debido a su alta biodegradabilidad y a su residuo de degradación que es el dióxido de carbono y el agua. Además de no ser perjudicial para el medio ambiente, el PLA posee características que lo hacen ideal para ser utilizado en la impresión 3D, entre ellas se encuentra su bajo costo, su estabilidad y la facilidad para su adquisición en el mercado [39].

Los elementos utilizados para la construcción del sistema electrónico se especifican a continuación:

- **Wemos D1 mini:** es una placa de desarrollo que integra el ESP12F siendo este una versión del ESP8266. Contiene un microcontrolador habilitado para Wifi que puede ser programado para una gran variedad de funciones tales como el control de sensores. Debido a su facilidad de uso, es ampliamente empleada en proyectos de

internet de las cosas (IoT). Adicionalmente, puede ser programada por medio del IDE de Arduino [40].

- **Arduino IDE:** es una plataforma electrónica de código abierto. Las placas Arduino leen entradas y las transforman en salidas dependiendo de la necesidad del usuario. Este sistema es de fácil uso y maneja hardware y software [41].
- **Sensor Reed Switch:** es un interruptor que se activa por la presencia de un campo magnético. Está compuesto por dos laminas ferromagnéticas de Ni y Fe que están herméticamente selladas dentro de una cápsula de vidrio. Estas láminas se superponen dejando un espacio entre ellas y al tener presencia de un campo magnético, se cierra este espacio y se ponen en contacto [42].
- **Imán de Neodimio:** es un material magnético que posee propiedades superiores a los imanes tradicionales. Sobresale por ser uno de los materiales más fuertes en el mundo y por características como su elevada resistencia a la desmagnetización y a la corrosión [43].
- **Resistencia de pull up:** son resistencias que se ubican en las entradas digitales de la tarjeta que se está usando, en este caso la *Wemos D1 mini*, las cuales establecen un estado lógico en los pines o entradas. Estas resistencias establecen un estado "HIGH" dependiendo de cómo sean ubicadas. Para la construcción del sistema electrónico del dispositivo se utilizaron resistencias de pull up de 330Ω [44].

Conociendo la funcionalidad que debía cumplir el dispositivo y las características específicas de cada uno de los elementos establecidos para la construcción del sistema electrónico de la herramienta, se procedió a diseñar el esquemático del sistema que se encuentra mostrado en la figura 6.

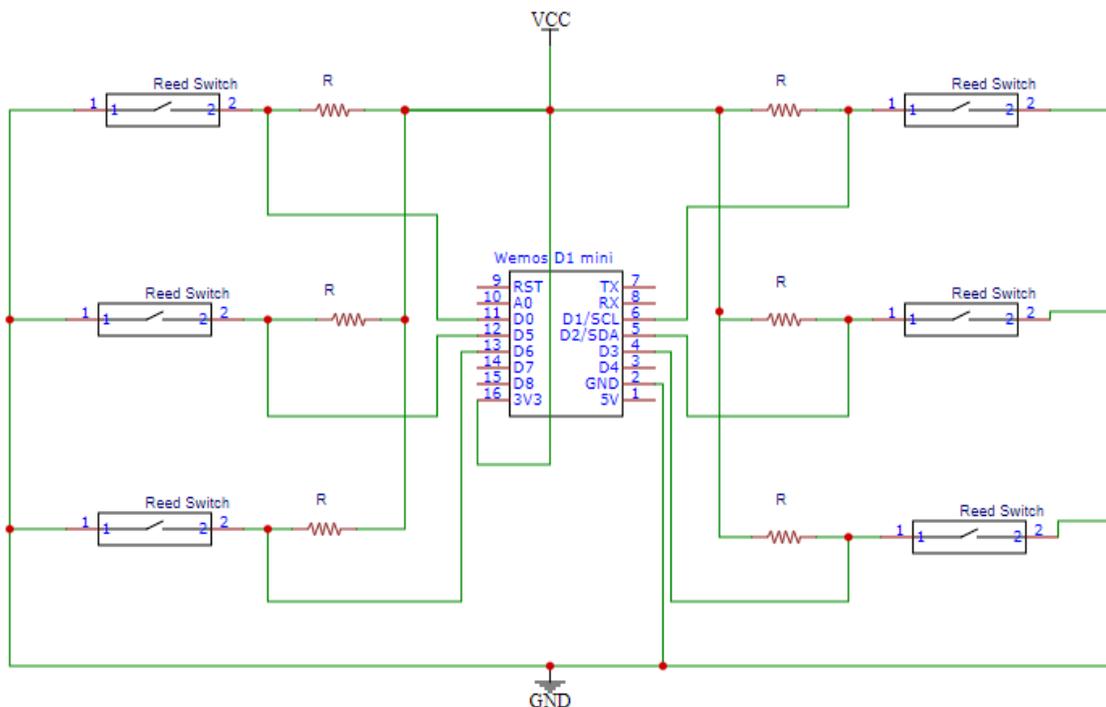


Fig. 6. Esquema eléctrico del dispositivo.

Los puertos de la tarjeta que fueron utilizados para la matriz del sistema Braille del dispositivo son el D0, D5, D6, D1, D2 Y D3, además se hicieron las conexiones al punto de referencia comúnmente llamado tierra (GND) y a la fuente de alimentación (VCC). Como se mencionó previamente, las resistencias R son resistencias de pull up y su valor numérico es de 330 Ω , fueron conectadas en serie con del Reed switch y con la entrada al puerto de la tarjeta Wemos D1 mini siendo alimentadas por medio del VCC en común del sistema.

6.4. Cuarta etapa: desarrollo web

El desarrollo web fue una parte fundamental del proyecto ya que cumple con el objetivo de lograr que se brinde realimentación auditiva en el proceso de aprendizaje. El sitio web fue diseñado especialmente para que sea una interfaz amigable con el usuario, en este caso es el acompañante de la persona con discapacidad visual que ingresa al proceso de aprendizaje del sistema Braille. El sitio web del proyecto fue desarrollado haciendo uso de tres lenguajes descritos a continuación.

- **HTML:** por sus siglas en inglés “Hyper Text Markup Language” es el lenguaje de marcado estándar para la creación de páginas web. Este lenguaje describe la estructura de una página web y está basado en una serie de elementos que le dicen al navegador cómo mostrar el contenido [45].
- **CSS:** por sus siglas en inglés “Cascading Style Sheets”, es el lenguaje que describe cómo se muestran los elementos HTML en la pantalla. Básicamente, es el lenguaje de diseño para crear la presentación de la página web [46].
- **JavaScript:** es el lenguaje de programación para la web. Puede manipular, calcular y validar datos para HTML y CSS. Es un lenguaje orientado a objetos que permite dar dinamicidad a la página o sitio web [47].

Por otra parte, para cumplir con el objetivo de lograr comunicación bidireccional entre el sitio web y el dispositivo, se hizo uso de conocimientos de Internet de las cosas (IoT por sus siglas en inglés), entre los cuales se incluyen el manejo de la tarjeta Wemos D1 mini (*ESP8266*) para la conexión Wifi del dispositivo, así como también la implementación de un protocolo *MQTT* (*Message Queuing Telemetry Transport*) que tiene como propósito dar una comunicación máquina a máquina y se basa en la conexión por medio de tópicos. El protocolo es definido en el IDE de Arduino y es ligado con la plataforma web haciendo uso del lenguaje de programación JavaScript en el que se define la realimentación visual y su correspondiente realimentación auditiva para cada letra, número y signo Braille. Se asignan rutinas específicas para el funcionamiento de la lectura (traducción de caracteres a sistema Braille) en la que se muestran los círculos de la matriz que deben ser ocupados, y para el funcionamiento de la escritura en la cual se detecta la posición de los puntos posicionados en la matriz del dispositivo.

En la fig. 7 se puede observar el proceso de transporte de los datos y cómo se ven involucrados los elementos que hacen parte de la comunicación entre el dispositivo y la plataforma web.

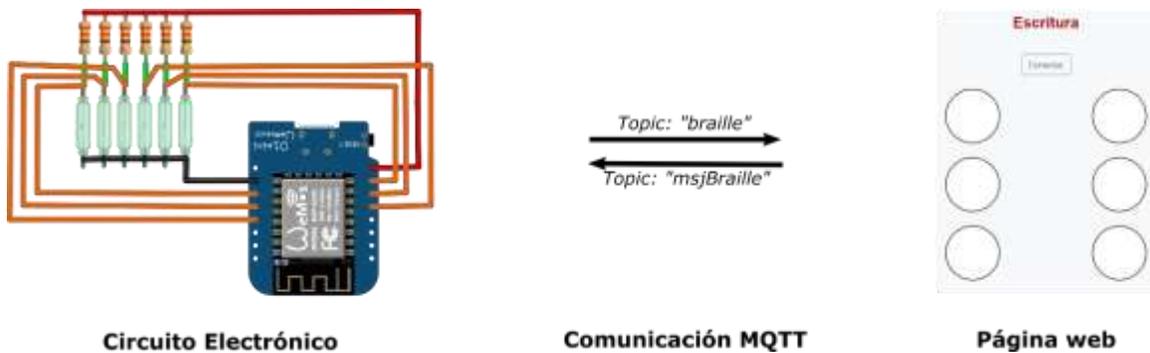


Fig. 7. Diagrama de bloques de la solución.

6.4.1. Diseño y construcción del sitio web

El diseño de la plataforma web se basó en brindar una herramienta electrónica de fácil uso y que cumpliera la función de apoyar el proceso de aprendizaje y enseñanza del sistema Braille a manera de guía tanto para la persona con discapacidad visual como para la persona vidente que la acompañará en este proceso. El sitio web creado consta de cinco páginas web que se dividen de acuerdo con la información propia de cada apartado, estas son Inicio, Habilidades previas, Pre-Braille y Braille formal. Los elementos que componen cada página web del proyecto se dividen en:

Cabecera: más conocido como *header* en inglés, es la parte superior de las páginas web que contiene el menú de navegación, el título del proyecto y una imagen o video introductorio que da una vista a lo que se encontrará en el sitio web. El menú de navegación que es general para todas las páginas del sitio web y contiene los siguientes enlaces:

- Inicio
- Habilidades previas
- Pre-Braille
- Braille
- Braille formal

El título de cada página web corresponde a cada una de las fases del método de enseñanza en orden ascendente, planteado en el apartado Método de enseñanza Braille, con su respectivo nombre. La página web de inicio cuenta con el título del proyecto para así dar a conocer sobre qué se trata la plataforma.

- Página web “Inicio”: Dispositivo para apoyar el aprendizaje y la enseñanza del sistema Braille.
- Página web “Habilidades previas”: fase 1 Habilidades previas.
- Página web “Pre-Braille”: fase 2 Pre-Braille.
- Página web “Braille”: fase 3 Braille.
- Página web “Braille formal”: fase 4 Braille formal.

- **Cuerpo:** más conocido como *body* en inglés, es la parte que comprende el contenido principal de cada página web. El cuerpo de cada página es completamente diferente

ya que la información allí plasmada corresponde a la información independiente de cada una de las fases del método de enseñanza Braille.

En términos generales, el cuerpo de cada página web consiste en dar la descripción de la fase según corresponda y brindar ayudas visuales y conceptuales para facilitar los requerimientos que se establecieron en cada fase que pueden consistir en imágenes, videos o instrucciones.

En el cuerpo de la página web fase 3 (Braille) se diseñaron dos matrices con el signo generador Braille, una para brindar una ayuda visual de cómo deben ir escritas las letras en el sistema Braille y la otra para realizar la verificación de la posición de los puntos en la matriz del dispositivo. De igual manera ocurre en la página web fase 4 (Braille Formal) pero para números y signos de puntuación. En la figura 8 se muestra el diseño en el que estuvo basado la creación y posicionamiento de las matrices dentro del sitio web.

- **Pie de página:** más conocido como *footer* en inglés, es la última parte de la página web en la cual se especifica información del autor, se visualiza un menú simplificado para navegar entre las demás páginas del sitio web y una breve descripción del tema principal del proyecto.

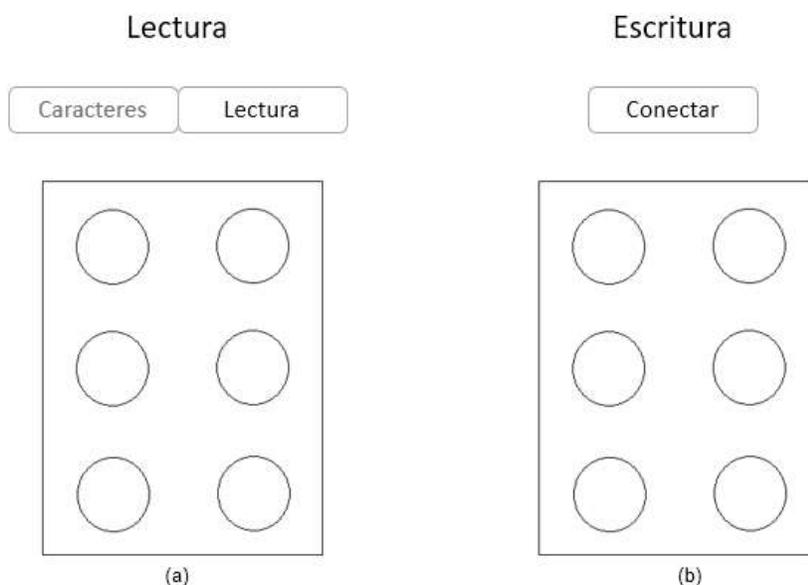


Fig. 8. Diseño del signo generador de (a) lectura y (b) escritura.

6.5. Quinta etapa: verificación del sistema

Una vez unificado el sistema se procedió a realizar la etapa de verificación para la cual se siguieron los pasos mostrados en la figura 9. Este proceso fue repetido 50 veces para cada letra, número y signo de puntuación del sistema Braille con el fin de establecer la exactitud y precisión de la herramienta.

La exactitud se define como la cercanía del valor de una o más mediciones independientes a un valor verdadero, entre más cerca se encuentra una medición del valor real, menor será el error y por ende más exacta. Por otro lado, la precisión está definida

como la cercanía de dos o más valores de mediciones entre sí, es decir entre más cerca estén los valores de diferentes mediciones más precisa será la herramienta [48].

Para llevar a cabo los cálculos de estas medidas estadísticas se deben hallar los valores de cada uno de los parámetros especificados en la tabla 3 y una vez determinados, hacer uso de las ecuaciones 1 y 2 para calcular los valores de exactitud y precisión.

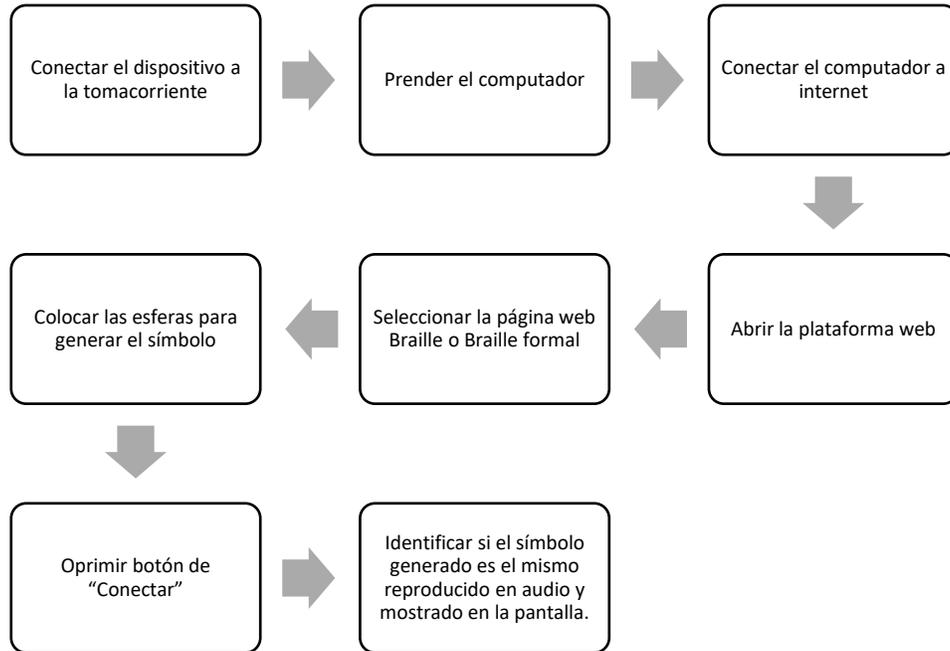


Fig. 9. Protocolo de verificación del dispositivo y la plataforma web.

Tabla 3. Explicación de organización de los conceptos de VP, VN, FP y FN [49].

Resultado de la prueba	Correcto	Incorrecto
Positivo	Verdadero Positivo (VP)	Falso Positivo (FP)
Negativo	Falso Negativo (FN)	Verdadero Negativo (VN)

$$Exactitud = \frac{VP + VN}{VP + FP + FN + VN} \quad (1)$$

$$Precisión = \frac{VP}{VP + FP} \quad (2)$$

7. RESULTADOS

Los resultados obtenidos se muestran divididos en tres partes, en la primera se expone el dispositivo final con todas sus piezas. En la segunda parte se muestra el sitio web construido con cada una de sus páginas web, teniendo en cuenta que cada una de ellas tiene una funcionalidad diferente. Por último, en la tercera parte se muestran los resultados de la verificación del dispositivo en conjunto con el sitio web.

7.1. Dispositivo

La parte exterior del dispositivo que contiene todos los elementos y componentes electrónicos está exhibido en la figura 10. Las piezas planas y las que tienen el relieve en forma circular son deslizables por las dos columnas del dispositivo como se observa en la figura 11, adicionalmente las piezas que corresponden a los puntos del sistema Braille tienen incluidas un imán de neodimio en el centro que se ajusta a los sensores incrustados en la parte posterior del dispositivo.

Con el objetivo de proporcionar una mejor comprensión del dispositivo, se brindan a continuación las dimensiones reales obtenidas: 8.5 cm (largo) x 2 cm (ancho) x 12 cm (alto).



Fig. 10. Estructura física del dispositivo.



Fig. 11. Piezas removibles del dispositivo.

7.2. Sitio web

Como página de inicio se buscó dar una introducción al dispositivo y al método de aprendizaje y enseñanza propuesto para este proyecto. En la figura 12 se muestra la primera visualización que se tiene al abrir el sitio web.



Fig. 12. Cabecera de la página web de inicio.

La figura 13 muestra la sección principal de la página web correspondiente a la fase 1 llamada habilidades previas. Siguiendo las características propuestas para esta fase se insertaron tres secciones importantes las cuales conducen al material indicado en cada una.

La primera sección pertenece a las actividades cotidianas, en esta se proponen actividades comunes que realiza una persona tales como doblar ropa, lavarse las manos, hacer la cama, organizar dinero, hacer mercado y lavarse los dientes. Estas son sugerencias que se hacen de manera que se pueda tener una guía, pero se busca que se generen actividades y rutinas propias ajustadas a la vida cotidiana de cada usuario.

La segunda sección conduce a una serie de páginas web recomendadas para la adquisición de libros y audiolibros que contienen todo tipo de géneros para así poder escoger la literatura que se ajuste a los intereses del usuario. Algunos ejemplos son: *El libro total* especializada en obras clásicas y contemporáneas, *Casa del libro* que tiene todo tipo de géneros y permite la descarga gratuita, y Booknet la cual es una biblioteca en línea de libros y audiolibros que así como las anteriores mencionadas es gratuita y permite realizar descargas del material deseado.

Por último, la tercera sección corresponde a la de canciones la cual, al ser seleccionada, lleva directamente a la página principal de la plataforma *YouTube* dando así libertad para encontrar el tipo de música deseado.



Fig. 13. Sección principal de la página web fase 1: Habilidades Previas.

La figura 14 muestra el contenido introductorio de la página web correspondiente a la fase 2: Pre-Braille en la cual se realiza el primer acercamiento al dispositivo. Contiene una sección denominada materiales que al ser seleccionada muestra una galería de imágenes de diferentes materiales que pueden ser usados para promover el desarrollo del sentido sensorial del tacto. Se proponen materiales simples usualmente encontrados en el hogar o que son fáciles de adquirir, algunos ejemplos son: cartón, lana, plastilina, granos, frutas, verduras, entre otros.

La siguiente sección denominada juegos direcciona a una serie de videos en los que se muestran cómo armar con materiales básicos juegos de mesa especialmente diseñados para personas con discapacidad visual. Las dos secciones mencionadas se pueden observar en la figura 15.



Fig. 14. Sección principal de la página web fase 2: Pre-Braille.

La página web de la fase 3: Braille correspondiente a la etapa de aprendizaje de letras, contiene un video instructivo en el que se muestra cómo hacer la conexión del dispositivo a la plataforma web y cómo este debe ser utilizado. La sección que se muestra en la figura 16 pertenece al signo generador de lectura para la visualización de letras en donde se muestra la traducción de letras del abecedario tradicional al sistema Braille, este hace posible que la persona vidente pueda conocer las combinaciones correctas de los puntos de la matriz escribiendo la letra deseada en el recuadro *letra* y presionando el botón *Lectura*. Por otra parte, el signo generador de la escritura es el encargado de la verificación de la combinación de puntos que se hace en el dispositivo.

La detección de la posición de los puntos en la matriz del dispositivo se realiza gracias a la detección del imán que tiene cada uno de los puntos removibles y a la falta de este en las piezas planas, es decir que ante la presencia de imán el sistema genera un cero (0) digital y cuando se remueve se genera un uno (1) digital. Se realizaron todas las combinaciones posibles de puntos para las letras en el idioma español en el sistema binario dentro del documento de la programación de la página web y por medio de JavaScript se generaron las funciones que contienen las condiciones para mostrar los espacios que deben ser ocupados por los puntos según corresponda.

Por último, se hizo uso del protocolo MQTT para la conexión entre el dispositivo y la plataforma web según la siguiente arquitectura: se extraen los datos provenientes del dispositivo que al ser tratados son adquiridos en el IDE de Arduino a los cuales se les asignó un topic llamado "braille" para posteriormente ser enviados al *broker* escogido, en este caso fue el Broker de la Universidad del Rosario.

En último lugar se hace la suscripción del protocolo MQTT en la programación de la plataforma web utilizando JavaScript, en el cual se declara el broker y el topic. Dentro de esta rutina se declararon también las funciones que corresponden a la sección de *Escritura* y en el botón *Conectar* se establece la funcionalidad de únicamente verificar los datos cuando este sea presionado, lo anterior con el fin de evitar que se genere una adquisición de datos continuo que puede generar errores.



Fig. 16. Signo generador de lectura y escritura del sistema Braille fase 3: Pre-Braille.

Los botones llamados *Ver vocales* y *Ver consonantes* que se observan en la parte superior de la sección brindan una guía visual de las letras del abecedario en español para que sean introducidas en la sección de lectura. Esto con el fin de brindar una guía para la persona vidente que está apoyando al estudiante con discapacidad visual en el proceso de aprendizaje.

De igual manera se estableció la funcionalidad para la sección de lectura y escritura de la página web correspondiente a la fase 4: Braille formal. Únicamente teniendo en cuenta que las combinaciones que pueden ser realizadas en esta sección son las que coinciden con los números y signos de puntuación en el sistema Braille. La figura 17 muestra el resultado del diseño. La plataforma web se encuentra publicada y puede ser consultada en el siguiente enlace: <http://iot.urosario.edu.co/SistemaBraille/>



Fig. 17. Signo generador de lectura y escritura del sistema Braille fase 4: Braille formal.

7.3. Pruebas de verificación

La prueba de verificación se realizó siguiendo el procedimiento mostrado en la fig. 9 en la sección de [metodología](#). Con el fin de brindar una mejor comprensión de los resultados obtenidos la figura 18 se muestra lo que se visualiza en la página web cuando se ingresa la letra "a" en la sección de lectura y cuando se posiciona una pieza en la posición 1 de la matriz del dispositivo.



Fig. 18. Letra "a" en sección de lectura y escritura.

La tabla 4 muestra los resultados obtenidos para los parámetros estadísticos necesarios en el cálculo de la exactitud y la precisión de la herramienta, estos datos son el resultado del proceso de verificación de todos los caracteres mostrados en la figura 1 y 2. A continuación se muestran especificados:

- VP = 2174
- VN = 4
- FP = 0
- FN = 22

Tabla 4. Resultados de datos VP, VN, FP y FN.

Resultado de la prueba	Correcto	Incorrecto
Positivo	2174	0
Negativo	22	4

Se procedió a realizar el cálculo para determinar la exactitud la cual está dada por la proporción de resultados verdaderos entre el número total de los casos examinados, es decir la suma de todos los parámetros de la tabla 3. Su expresión se muestra en la ecuación 1. De la misma manera, se realizó el cálculo de la precisión la cual es la proporción de los verdaderos positivos entre la suma de todos los resultados positivos, es decir VP y VF. Su expresión se muestra en la ecuación 2.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 5, obteniendo un valor de exactitud de 99% y un valor de precisión de 100%.

Tabla 5. Valores calculados de exactitud y precisión.

Medida estadística	Valor (%)
Exactitud	99
Precisión	100

8. DISCUSIÓN

Este proyecto tuvo como propósito la creación de una herramienta para el aprendizaje y enseñanza del sistema Braille para personas con discapacidad visual, el cual estuvo fundamentado en cifras y estadísticas dadas para la población en Colombia. Se estableció que existe una problemática específica en el área de la educación concretamente en la alfabetización de las personas con discapacidad visual ya que, debido a la situación socioeconómica en la que se encuentran, no les es posible ingresar al sistema educativo convencional estructurado en Colombia.

Partiendo de este hecho, se construyó una herramienta que consiste en un sitio web y un dispositivo diseñado con la matriz del sistema Braille, mejor llamada signo generador. La plataforma web se diseñó con el fin de brindar recursos informativos que hacen parte del método de aprendizaje y enseñanza propuesto. Su otra función es la de servir como plataforma de conexión con el dispositivo, para presentar la realimentación auditiva y visual de las letras, números y signos en el sistema Braille.

Uno de los mayores beneficios de la herramienta construida es su bajo costo estimado en 80.000 COP equivalente a 20 US. En comparación con otros dispositivos de educación para personas con discapacidad visual que se encuentran disponibles en el mercado, tales como las pantallas Braille o los juegos interactivos, el costo de este proyecto es menos del 50% del costo de uno de estos dispositivos [50].

Al compararse con proyectos equivalentes que surgen como resultado de la investigación en instituciones de educación superior que tienen como objetivo mejorar el sistema de alfabetización implementado en una comunidad, ciudad o país en específico, se establece que la herramienta desarrollada a pesar de ser electrónica no pierde las características del sistema Braille tradicional en cuanto a que su lectura y escritura está dada por semiesferas en relieve y su uso prolongado consiste en la adaptación táctil al sistema Braille tradicional. Contrario a lo que ocurre en el proyecto SBK (Smart Braille keyboard) desarrollado en la universidad tecnológica de la Mixteca, en Guatemala, la matriz Braille del dispositivo se encuentra dada por teclas completamente planas y cuadradas las cuales deben ser presionadas por el usuario con discapacidad visual para formar las letras del sistema Braille [51].

Los resultados obtenidos para las medidas estadísticas indican que la herramienta en conjunto tiene exactitud del 99%, esto quiere decir que el margen de error es muy bajo y por lo tanto los datos obtenidos tienen un alto porcentaje de acercamiento a los ideales. De igual manera, se tiene que la precisión es de 100% lo que significa que los datos obtenidos provenientes del sitio web son exactamente los mismos que los indicados en el dispositivo. Esto representa una gran ventaja para el proyecto desarrollado ya que brinda una mejor experiencia al usuario, generando confiabilidad y haciendo más efectivo el proceso tanto de aprendizaje como de enseñanza del sistema Braille.

Debido a que los resultados obtenidos cumplen todas las expectativas propuestas al inicio de este proyecto, el desarrollo de la herramienta supone que puede tener un alto impacto social en la población con discapacidad visual en Colombia, no solo por su bajo costo sino también por su alta precisión, brindando así un elemento útil en el área de la educación especializada.

9. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

La construcción de esta herramienta que brinda apoyo en el proceso del aprendizaje y la enseñanza del sistema Braille, abre diferentes posibilidades de ser usada en el área de la educación ya que, debido a su facilidad de uso, podría ser empleada para la enseñanza de diversas ciencias tales como matemáticas, computación, física, e incluso puede ser utilizada para la enseñanza de un arte como lo es la música.

Como continuación de este proyecto se proponen trabajos futuros en diversas áreas que surgieron como resultado de la investigación y desarrollo de la herramienta construida. En primer lugar se propone hacer pruebas controladas con la participación de personas con discapacidad visual, esto podría brindar realimentación útil para realizar mejoras o modificaciones al dispositivo.

Así mismo, se propone realizar un estudio de usabilidad en el cual se puedan determinar características específicas tales como la facilidad de uso y la calidad de la herramienta en el cumplimiento del objetivo específico de la herramienta que es el aprendizaje del sistema Braille.

Un trabajo a futuro es el acondicionamiento del dispositivo para que tenga una funcionalidad “off-line”, es decir, que no requiera de conexión a internet para que pueda ser utilizado. Esto con el fin de disminuir las necesidades para su uso y poder lograr un mayor alcance ya que su adquisición no generaría un gasto adicional.

Se propone también crear una adaptación para que se pueda generar una conexión entre múltiples dispositivos y así poder ajustar el uso del dispositivo para el aprendizaje de palabras y frases largas, de igual manera se tendría que modificar la base de datos de caracteres y de la realimentación auditiva de los mismos. Teniendo esto en cuenta, para agilizar el proceso de la actualización de la base de datos de palabras y frases, se podría crear una sección dentro de la plataforma web en la cual el usuario sea capaz de agregar las palabras y frases con su respectiva realimentación visual y auditiva.

Teniendo en cuenta que el dispositivo puede ser utilizado por cualquier persona sin importar su edad, se considera importante poder ajustar el tamaño del dispositivo a las medidas antropométricas del usuario manteniendo un margen mínimo establecido, sabiendo que cuando se inicia en el proceso de aprendizaje es recomendable que la herramienta con la que se vaya a trabajar tenga un tamaño más grande de lo normal y así poder cursar las primeras fases del método de aprendizaje y enseñanza Braille con éxito.

Por último, se sugiere el planteamiento de un paquete que contenga dispositivos de diferentes tamaños para los cuales su uso esté condicionado a la fase del método de enseñanza Braille en la que se encuentre el usuario, y así poder lograr que el estudiante se acerque cada vez más al tamaño real del sistema Braille utilizado en la mayoría de los recursos para personas con discapacidad visual.

10. CONCLUSIONES

Fue posible realizar la construcción y validación de una herramienta que sirve como apoyo en el proceso de enseñanza y aprendizaje del sistema Braille la cual cuenta con el 100% de precisión calculada por medio de las pruebas de verificación del dispositivo con el sitio web.

El dispositivo está diseñado de manera que contiene la matriz 2x3 del sistema Braille la cual es el signo generador en el que se pueden crear todas las combinaciones de puntos correspondientes a las letras, números y signos de puntuación en el sistema Braille. Es así como es posible llevar a cabo el método propuesto para la enseñanza y aprendizaje del sistema Braille.

Como medio para el apoyo visual y auditivo, se creó una plataforma web la cual contiene información tanto del proyecto como del método a seguir, dentro de esta se diseñó una sección para la traducción de letras del abecedario en español al sistema Braille lo cual permite que cualquier persona teniendo un conocimiento nulo o bajo en la escritura y lectura del sistema Braille, pueda cumplir el rol de guía para la persona con discapacidad visual. La realimentación auditiva que está dada desde la página web sirve como apoyo para la persona con discapacidad visual ya que se genera una interacción y esto evita que se cometan errores humanos en la verificación de las letras escritas en el dispositivo.

Es importante resaltar que la implementación de esta herramienta significa un gran avance en la educación personalizada de las personas con discapacidad visual ya que se disminuye la demanda de profesores expertos en la lectura y escritura Braille, y los encargados de esta tarea pasan a ser incluso los mismos familiares de la persona que ingresa en el proceso de alfabetización.

Para hacer uso de esta herramienta es necesario el acceso a un computador con servicio de internet, el cual puede ser encontrado en bibliotecas y centros culturales localizados en diversas ubicaciones de las ciudades y municipios del país.

En cuanto a los materiales y costos involucrados en la creación del dispositivo existieron factores influyentes iniciando con el material utilizado para la impresión 3D de la parte externa del dispositivo, el cual debido a su materia prima genera una disminución en su valor y además es completamente biodegradable lo que significa que no genera contaminación para el medio ambiente. Las demás partes enfocadas en el funcionamiento electrónico son elementos básicos y también de bajo costo que pueden ser adquiridos con facilidad y su venta está dada a nivel nacional, lo que quiere decir que si llegase a sufrir un daño en el circuito sus partes podrían ser fácilmente reemplazadas.

El haber diseñado el dispositivo a una escala significativamente mayor a la escala estandarizada para el sistema Braille, permitió llevar a cabo un mejor manejo del dispositivo ya que es más fácil de manipular y se genera una mayor atracción hacia el mismo.

Es posible concluir que el dispositivo en conjunto con la plataforma web, cumplen el objetivo principal de brindar apoyo en la educación en el sistema Braille. Aunque no fue puesto a prueba en personas con discapacidad visual, la autora de este documento encargada de llevar a cabo las pruebas de verificación de cada carácter en el sistema Braille, pudo aprender a leer y escribir cada una de las letras, números y signos de puntuación que son mostrados en las páginas web de Braille y Braille formal, teniendo en cuenta que no se contaba con ningún conocimiento previo en la escritura o lectura del sistema Braille.

REFERENCIAS

- [1] Diccionario panhispánico del español jurídico, «Persona con discapacidad,» [En línea]. Available: <https://dpej.rae.es/lema/persona-con-discapacidad>. [Último acceso: 3 Diciembre 2020].
- [2] Grupo social ONCE, «La discapacidad visual,» [En línea]. Available: <https://www.once.es/dejanos-ayudarte/la-discapacidad-visual>. [Último acceso: 3 Diciembre 2020].
- [3] Organización Mundial de la Salud, «World report on Vision,» Switzerland, 2019.
- [4] Departamento Administrativo Nacional De Estadística, «Población con registro para la localización y caracterización de las personas con discapacidad,» Colombia, 2010.
- [5] Departamento Administrativo Nacional De Estadística, «Censo de Población de discapacitados en Colombia,» 2019.
- [6] J. E. G. Ramírez, «Estudio revela cuales son las ciudades de Colombia más interesadas en contratar personas con discapacidad visual,» Instituto Nacional Para Ciegos , 2015.
- [7] A. Baciero, M. Perea y P. Gomez, «Touching your words: why Braille reading is special,» *Ciencia Cognitiva*, 2019.
- [8] I. Martínez y D. Polo, «Guía didáctica para la lectoescritura Braille,» Organización Nacional de Ciegos Españoles (ONCE) , Madrid.
- [9] UNESCO, «World Braille Usage,» Washington, D.C., 2013.
- [10] A. M. Alonso Sendín, I. Arangáiz Pedroche, J. Blanco Ponce, A. M. Dolcet Pérez, M. d. V. Durán Labrador, M. Á. Fernández Esteban, L. B. González Álvarez, A. Herrera Martín, M. D. Lorenzo López, Martín Fernández, Enrique, Molina Riazuelo, Ana Gloria, P. Montoto Chantres, L. Nadal Fiol, F. Ojeda Hernando, M. d. I. Á. Quesada Moralo, C. Ruíz Flores, P. Sánchez Sánchez, M. T. Tejido Domínguez y I. Vecilla Rodrigo, «La didáctica del Braille más allá del código. Nuevas perspectivas en la alfabetización del alumnado con discapacidad visual,» Madrid, 2015.
- [11] M. Khochen-Bagshaw, «Reading through touch, importance and challenges,» *World Congress Braille 21*, 2011.
- [12] P. A. Lozada, «La importancia del Sistema Braille para las personas ciegas en el desarrollo de las actividades cotidianas». *Instituto Nacional para Ciegos*.
- [13] Universidad Nacional de Valencia, «Beneficios y desventajas del sistema braille,» Valencia, 2018.
- [14] Instituto Nacional para Ciegos, «¿Cómo hago para capacitarme en braille?,» Bogota.
- [15] C. P. Dussan, «El INCI promueve el Braille,» Bogota.
- [16] D. Rose, «¿Quién usa el alfabeto Braille?,» *BBC*, 20 Febrero 2012.
- [17] LEGO, «LEGO Braille Bricks to launch in twenty countries over the next six months following successful pilot program,» [En línea]. Available: <https://www.lego.com/en-us/aboutus/news/2020/august/lego-braille-bricks/>. [Último acceso: 12 Septiembre 2020].
- [18] Taptilo, «Taptilo 2.0+ - Smart Braille Learning Device,» [En línea]. Available: <https://www.taptilo.com/products/taptilo-2-0>. [Último acceso: 17 Septiembre 2020].
- [19] S. Kumar, «Braille: herramienta para enseñar a niños ciegos,» *SciDevNet*, 2007.

- [20] S. M. Castro Murcia, «Herramientas para escribir Braille,» Bogotá.
- [21] M. Liébana, «Propuesta didáctica alfabeto Braille primaria,» Quiero hablar contigo, 2010.
- [22] Soluciones Integrales VER tecnologías para la Inclusión, «VER,» [En línea]. Available: <https://ver.com.co/impresion-en-braille/>. [Último acceso: 24 Septiembre 2020].
- [23] Soluciones Integrales Ver tecnologías para la inclusión, [En línea]. Available: <https://ver.com.co/producto/linea-braille-focus-40-celdas-ultima-generacion/>. [Último acceso: Septiembre 2020].
- [24] M. Gerard, «Blitab, la primera tableta en braille: el 'iPad para ciegos',» Crónica Global, 2017.
- [25] I. Martínez y P. Delfina, «Guía didáctica para la lectoescritura Braille,» Organización Nacional de Ciegos Españoles (ONCE), Madrid.
- [26] Elsevier B.V., «,» [En línea]. Available: <https://www.scopus.com/>. [Último acceso: 29 Septiembre 2020].
- [27] G. C. Bettelani, G. Averta, M. G. Catalano, B. Leporini y M. Bianchi, «Design and Validation of the Readable Device: a Single-Cell Electromagnetic Refreshable Braille Display,» 2019.
- [28] C. Hyun-Cheol, K. Byeong-Sang, P. Jung-Jun y S. Jae-Bok, «Development of a Braille Display using Piezoelectric Linear Motors,» Seúl, 2006.
- [29] K. Dobosz y M. Szùscik, «OneHandBraille: An Alternative Virtual,» *Silesian University of Technology*, 2018.
- [30] R. Benites, A. F. de Luna e Silva, J. Granatyr y A. Signoretti, «BrailleApp Educational Mobile Application to Assist in the Learning of Braille Language,» Natal, 2015.
- [31] P. Abhishek y R. Balaji, «6 Dot Braille Script Based Adapted Computer Keyboard for Visually,» Chennai, 2012.
- [32] J. A. Borges y D. Tomé, «Teaching music to blind children: new strategies for teaching,» Oporto, 2013.
- [33] J. A. Acuy Pauta, E. Vélez Pinos y L. Andrade Serpa, «Braille Teaching Electronic Prototype,» *Universidad Politécnica Salesiana*, 2016.
- [34] Universidad Internacional de Valencia, «Estrategias y didáctica para la enseñanza del sistema Braille,» Valencia, 2018.
- [35] R. Barczyk y D. Jasińska-Choromańska, «Problems of Quality of Convex Printouts,» Varsovia, 2004.
- [36] Comisión Braille Española, organización Nacional de Ciegos Españoles (ONCE), «Parámetros dimensionales del Braille,» Madrid, 2014.
- [37] C. Simón, E. Ochaíta y H. J. A., «El sistema Braille: Bases para su enseñanza-aprendizaje,» CL&E, Madrid.
- [38] «Ultimaker S3,» Ultimaker BV, 2020. [En línea]. Available: <https://ultimaker.com/es/3d-printers/ultimaker-s3>. [Último acceso: 14 Noviembre 2020].
- [39] C.-c. Fang, Y. Zhang, S.-y. Qi, Y.-c. Liao, Y.-y. Li y P. Wang, «Influence of structural design on mechanical and thermal properties of jute reinforced polylactic acid (PLA) laminated composites,» Springer Nature Journals, Suzhou, 2020.

- [40] Dynamo, «Wemos D1 mini (Esp8266),» [En línea]. Available: <https://www.dynamoelectronics.com/tienda/wemos-d1-mini-esp8266/>. [Último acceso: 14 Noviembre 2020].
- [41] Arduino, [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/>. [Último acceso: 30 Septiembre 2020].
- [42] Shoptronica, «¿Qué son los Interruptores magnéticos Reed-Switch?,» [En línea]. Available: <https://www.shoptronica.com/curiosidades-tutoriales-y-gadgets/3981-que-son-los-interruptor-magnetico-reed-switch-0689593949974.html>. [Último acceso: 30 Septiembre 2020].
- [43] Noticias de la Ciencia, «¿Qué es un imán de neodimio?,» 14 Noviembre 2019. [En línea]. Available: <https://noticiasdelaciencia.com/art/35280/que-es-un-iman-de-neodimio>. [Último acceso: 10 Noviembre 2020].
- [44] L. Del Valle, «Resistencia pull up y pull down,» [En línea]. Available: <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/resistencia-pull-up-y-pull-down/>. [Último acceso: 13 Noviembre 2020].
- [45] w3schools, «HTML introduction,» [En línea]. Available: https://www.w3schools.com/html/html_intro.asp. [Último acceso: 13 Noviembre 2020].
- [46] w3schools, «CSS Introduction,» [En línea]. Available: https://www.w3schools.com/css/css_intro.asp. [Último acceso: 13 Noviembre 2020].
- [47] w3schools, «JavaScript Introduction,» [En línea]. Available: https://www.w3schools.com/js/js_intro.asp. [Último acceso: 13 Noviembre 2020].
- [48] R. R. Sokal y F. J. Rohlf, de *Introducción a la Bioestadística*, Barcelona, Editorial Reverté, S. A. , 2002.
- [49] M. E. Burgos y C. Manterola, «Cómo interpretar un artículo sobre pruebas diagnósticas,» *Rev. Chilena de Cirugía*, pp. 301-308, 2010.
- [50] Soluciones Integrales VER, «Línea Braille – Focus 14 Celdas última generación para Uso Individual,» [En línea]. Available: <https://ver.com.co/producto/linea-braille-focus-14-celdas-ultima-generacion-para-uso-individual/>. [Último acceso: 20 Noviembre 2020].
- [51] N. Gómez, G. Eneas, Q. Ángel y M. Moreno, «SBK: Smart Braille Keyboard for learning Braille literacy in blind or visually impaired people,» 17 Noviembre 2017.

ANEXOS

Anexo 1. Tabla de revisión bibliográfica de artículos aceptados.

Título	Hardware	Software	Objetivo	Conclusiones
Design and Validation of the Readable Device: A Single-Cell Electromagnetic Refreshable Braille Display	Arduino Micro, Pantalla Braille de celda única	NO APLICA	Diseño y caracterización de un dispositivo Braille actualizable de una celda y bajo costo que sea legible. Basado en accionamiento electromagnético.	Dispositivo útil y fácil de manejar que facilita la lectura del Braille. Es más barato que otros de su tipo, pero no tiene realimentación auditiva (los usuarios prefieren tenerla).
Wireless Emanation of Braille to Text/Voice and Vice Versa	FPGA, LCD, teclado Braille, módulo Bluetooth	La traducción se hace con JavaScript, Google text to Speech API, putty software	Diseñar y desarrollar un sistema para personas con discapacidad visual que le permita comunicarse por dispositivos de telecomunicación.	El dispositivo propuesto podría ser de utilidad para la comunicación entre personas con discapacidad visual y personas videntes a través de tecnologías como celular y computador. Esto generaría más oportunidades de trabajo y acceso a estudio.
Expounding the rehabilitation service for acquired visual impairment contingent on assistive technology acceptance	NO APLICA	NO APLICA	Investigación para entender la opinión de las personas con discapacidad visual respecto a las tecnologías de asistencia y dispositivos. Encontrar qué factores desalientan a que las personas con discapacidad visual compren y usen nuevas tecnologías de asistencia.	Las personas con discapacidad visual no están al tanto de las nuevas tecnologías y dispositivos de asistencia. Adicionalmente, muchas de estas personas tienen bajos ingresos, por lo tanto, no pueden adquirir la tecnología.

Braille keyboard for people with low vision	TENNSY acquisition plate, 3 teclados de línea.	CATIA software housing, ARDUINO	Construir un teclado con la matriz del sistema Braille que pueda ser conectado a cualquier computador, teléfono o tablet vía cable USB. Adicionalmente tiene otros 6 botones con funciones predeterminadas.	Dispositivo útil, construido con materiales de bajo costo. Puede ser mejorado y elevar su eficiencia pero funciona bien.
Tactica: An android-based low-cost assistive tactile device on basic braille notation reading for visually impaired students in SPED centers with IoT technology	Teclado con matriz de Sistema Braille, Arduino mega	Aplicación móvil	Mejorar la tecnología de asistencia para la lectura del Braille por medio del desarrollo y diseño de un dispositivo táctil de Braille llamado TACTICA	Dispositivo de bajo costo, útil para aprender lectura de Braille, tiene realimentación auditiva en la aplicación móvil y funciona por medio de conexión a internet. útil para niños inexpertos en Braille.
Braille text entry on smartwatches: An evaluation of methods for composing the Braille cell	ASUS ZenWatch2 005R	Teclados para Android	Desarrollo de cinco prototipos con diferentes características para posibles soluciones en el uso de Smartwatches	Tres de los cinco prototipos se consideraron aceptables para futuras evaluaciones. El estudio es útil para saber cómo se debería diseñar el sistema de entrada para Smartwatches para las personas con discapacidad visual
An Arabic Self-Learning Braille Application for Visually Impaired People	Celular	App iOS	Implementar una aplicación iOS de aprendizaje autónomo del Braille en el idioma árabe.	Se creó una herramienta funcional, apta para el auto aprendizaje del sistema Braille. Es apta para niños que puedan entender cómo manejar un dispositivo móvil.
An approach towards the development of refreshable Braille Computer Display Unit	Pantalla Braille	Optical character recognition (OCR)	Desarrollo de una unidad de pantalla electrónica Braille para la entrada de las personas con discapacidad visual al mundo virtual.	La pantalla es funcional y cumple el propósito. Puede tener mejoras, pero básicamente brinda una opción viable y de bajo costo para el uso del computador en el sistema Braille.

2D Braille Display Module Using Rotating Latch Structured Voice Coil Actuator	Módulo basado en principio de electromagnetismo, bobina y un imán para operar el pin de la matriz Braille	NO APLICA	desarrollar un nuevo tipo de pantalla Braille para las personas con discapacidad visual para proporcionar la comodidad del braille y ampliar la oportunidad de adquisición de información.	Puede ser un dispositivo útil en cuanto a portabilidad ya que requiere menos consumo de energía.
Use of assistive technologies in accessibility of information for students with visual impairments	NO APLICA	NO APLICA	Realizar una investigación a los estudiantes de la Universidad para saber si están familiarizados con los métodos que sus compañeros con discapacidad visual usan para acceder a la información.	Los estudiantes no están familiarizados con los métodos de estudio ni las tecnologías de asistencia para las personas con discapacidad visual. Las personas con discapacidad visual usualmente adquieren conocimiento de lo anterior por sí mismo y no por guía profesional.
Single Cell Bangla Braille Book Reader for Visually Impaired People	Microcontrolador , actuadores , batería, Celda y SD Card que forman un tablero (libro)	Software convierte libro en Braille. Programa en Java	Diseñar y desarrollar un sistema portátil de libro Braille de bajo costo para personas con discapacidad visual	Es útil pero las personas deben recordar el símbolo anterior para ir formando las palabras en la lectura. Es de bajo costo y podría ser útil para la educación de las personas con discapacidad visual.
Haptigames - Personally fabricated for the visual impaired	Impresión 3D	NO APLICA	Diseñar y producir juegos para personas con discapacidad visual impresos en 3D que ayuden al aprendizaje del Braille.	Los juegos son prácticos y modernos, adicionalmente son reutilizables y pueden ser personalizables.
Developing A Self-Learning Braille Kit for Visually Impaired People	Arduino, IR sensor array	ARDUINO	Desarrollar un dispositivo de autoaprendizaje Braille que pueda ser usado por personas con discapacidad visual sin la necesidad de requerir de asistencia de personas videntes.	Es útil para aprender letras y palabras básicas, enfocado en niños de primaria. Brinda más independencia para auto aprendizaje en niños con discapacidad visual

Enabling portable multiple-line refreshable Braille displays with electroactive elastomers	Membranas de elastómero acrílico, PMMA	NO APLICA	Desarrollo de una matriz con puntos Braille recargables de tamaño estándar basados en una tecnología de actuación innovadora que utiliza materiales inteligentes de respuesta eléctrica conocidos como elastómeros dieléctricos.	Diseño de bajo costo comparado con tecnologías del mismo nivel, adicionalmente es portátil y los materiales son innovadores. Requiere de mejoras para su implementación
Braille Teaching System for the Visually Impaired	Bloques con código braille, Arduino y módulo bluetooth	Tera term y Arduino	Desarrollo de un sistema de enseñanza Braille en el cual los códigos son impartidos de forma inalámbrica por medio de cartas enviadas por el tutor, utilizando una interfaz táctil con actuadores Solenoides	Es útil para enseñar Braille a personas con discapacidad visual y también para personas videntes. Se requiere de un tutor para el proceso de aprendizaje y enseñanza
A review of smartphone's text entry for visually impaired	NO APLICA	NO APLICA	Investigar sobre los tipos de métodos de entrada de texto en los smartphones para las personas con discapacidad visual	El estudio no es concluido, solo da paso para investigaciones sobre el tema. Brinda varios artículos y expone materiales y metodologías
Touching graphical applications: bimanual tactile interaction on the HyperBraille pin-matrix display	Dispositivo con pantalla Braille	JAVA	Presentar un sistema de HiperBraille que consiste en un dispositivo con la matriz generadora de símbolo y una pantalla gráfica que permite la interacción táctil en 2D.	Sirve para que las personas con discapacidad visual puedan acceder a interfaces gráficas de usuario. Aún faltan estudios para que pueda ser utilizado optimamente
Braille tutorial model using braille fingers puller	Arduino UNO, módulo Bluetooth	App iOS, Arduino	Construcción de un dispositivo "puller finger" amigable con el usuario, para el aprendizaje del Braille en niños con discapacidad visual	Sería útil pero falta realizar más modificaciones, el concepto es interesante y puede ser una buena opción para aprendizaje en personas con discapacidad visual
BRAPTER: Compact braille transput communicator	Atmega328 - Arduino UNO, matriz 4x4, SD CARD	ARDUINO, JAVA	Diseño de un dispositivo llamado Braille e-Notepad, que tiene como propósito el facilitar la toma de notas para personas con discapacidad visual	Posee realimentación auditiva lo que muestra si se comete error de escritura. Es útil e interesante.

A cost-effective electronic braille for visually impaired individuals	Arduino, MOSFET, Solenoid	ARDUINO	Desarrollo de un prototipo de una pantalla Braille que pueda asistir en la lectura a las personas con discapacidad visual.	El dispositivo es una herramienta útil, a comparación con otros dispositivos con el mismo funcionamiento es de bajo costo y con mejoras podría ser de gran utilidad para el aprendizaje del sistema Braille
An automatized method based on LaTeX for the realization of accessible PDF documents containing formulae	NO APLICA	LaTeX code	Formular un programa LaTeX automatizado para producir documentos PDF compatibles para las pantallas Braille	Código y programa sirven, es útil ya que no existe ningún paquete de LaTeX que realice esto. En el futuro será liberado oficialmente al mercado.
OneHandBraille: An alternative virtual keyboard for blind people	NO APLICA	App Android	Desarrollar un nuevo método de teclado para el celular que permita introducir caracteres en formato Braille haciendo uso de únicamente 3 dedos, cada dedo para cada fila de la matriz.	Lo más relevante del método y lo novedoso es que se requiere de únicamente 3 dedos para su uso. La velocidad de palabras por minuto mejora. Puede ser usado para otras aplicaciones con diferentes propósitos.
A Multifunction Braille Trainer based on Embedded Systems, Mobile Apps, Rule-based Reasoning and Data Mining for Children with Visual Impairment	Raspberry PI. Dispositivo con matriz Braille y botones extra	JAVA	Desarrollo de una herramienta de aplicación móvil de bajo costo que permita brindar soporte en los procesos de aprendizaje del lenguaje Braille, tanto para la escritura como para la lectura	útil ya que es funcional y tiene un diseño de aprendizaje y enseñanza práctico. Adicionalmente, es aceptado por el grupo y cumple el objetivo que propone.
Low-cost real-time braille keypad for communication	Microcontrolador PIC, Panel LCD	PUTTY, NVDA speech software	Construcción de un teclado Braille de 6 switches con realimentación auditiva	El dispositivo tiene realimentación auditiva y también muestra en pantalla LCD para confirmar lo que se está ingresando. Es portátil y de bajo costo. Brinda independencia a estudiantes con discapacidad visual.
Improving design of piezoelectric braille cell for braille display devices	Arduino UNO, Impresión 3D	Arduino, Solidworks	Fabricar una celda Braille de bajo costo utilizando tecnologías de impresión 3D.	Se logró construir un dispositivo de bajo costo en comparación con los disponibles en el mercado. Se debe tener en cuenta el tamaño de los puntos de la matriz Braille. Utilizaron actuadores piezoeléctricos que son los mismos que utilizan los comerciales.

Development of a graphic and braille optimized plotter for the blind and visually impaired	Arduino, Make block X/Y-robot kit, motores	mDraw	Desarrollar un sistema optimizado gráfico Braille de bajo costo. Este sistema tiene la capacidad de imprimir gráficos táctiles en Braille.	Herramienta de impresión 3D braille de bajo costo, fue aceptada por personas con discapacidad visual. Necesita más trabajo.
SBK: Smart Braille keyboard for learning Braille literacy in blind or visually impaired people	Impresión 3D	Software diseño impresión 3D	Desarrollar un teclado para aprender a escribir y leer Braille que se pueda conectar a dispositivos electrónicos.	Contiene 6 teclas que son el símbolo generador de Braille y botones especiales para ingresar, borrar, entre otros. Tiene realimentación auditiva. Aceptado por voluntarios con discapacidad visual. Por detrás tiene las letras en sistema Braille.
YAMI: Auxiliary complement to enable visually impaired people to use mobile devices	Carcasa con 10 botones impresa en Impresión 3D	Google talkback, Android	Desarrollo de una herramienta para ayudar a niños entre 6 y 16 años que sufren de discapacidad visual en el uso de dispositivos móviles	Los niños pudieron utilizar la adaptación y les facilitó el uso del celular. La metodología usada funciona.
An Evaluation of the BrailleEnter Keyboard: An Input Method Based on Braille Patterns for Touchscreen Devices	Teclado Matriz Braille	App Android	Desarrollo y evaluación de un método de teclado táctil Braille para smartphones llamada BrailleEnter	Se hizo comparación entre BrailleEnter y otro teclado Braille llamado Swift Braille. Se encontró que BrailleEnter fue aceptado por los voluntarios rápidamente pero que los 2 modelos son útiles y depende del usuario y su preferencia ya que ambos son útiles.
Flight: A low-cost reading and writing system for economically less-privileged visually impaired people exploiting ink-based Braille system	Lápiz con tinta, Plantilla, Microcontrolador, leds	NO APLICA	Desarrollar un sistema novedoso y de bajo costo para ayudar a las personas con discapacidad visual a leer y escribir con caracteres Braille basados en tinta	El dispositivo es novedoso con realimentación auditiva. Se tiene una plantilla con un esfero para escribir los caracteres Braille y luego se tiene otro dispositivo para leer esta tinta por medio de realimentación auditiva. Es relativamente de bajo costo y requiere práctica para adaptación.
A third eye with human-computer interaction for the visually impaired	Piezo-actuadores, Celdas Braille, PIC18F	PIC C	Desarrollar un lector de Braille portátil, ergonómico, vocalizable y recargable .	Lograron reducir costos y tamaño, al probarlo con los participantes obtuvieron resultados positivos. Podría ser mejorado. El dispositivo tiene un teclado de 48 celdas de Braille y permite realimentación auditiva

<p>Consideration of the experience of a blind user using a tactile graphics editor available for blind people</p>	<p>Teclado USB, DV2, 2D Sliding table</p>	<p>Programa para controlar dispositivos</p>	<p>Producir un sistema táctil editor de gráficos para personas con discapacidad visual</p>	<p>Los participantes pudieron sentir elementos específicos para el diseño gráfico. Herramienta mejorada de un diseño previo. Permite que los usuarios dibujen elementos que ellos quieran. Brinda independencia, pero los participantes a veces no sienten la superficie ya que el tamaño de los elementos de la pantalla es muy pequeño</p> <p>El prototipo inicialmente tenía en proyección la utilización de auriculares para la recepción auditiva de los caracteres; sin embargo según datos obtenidos de las fuentes bibliográficas y en el Instituto, una persona con discapacidad visual, necesita tener una recepción de señales auditivas de distintos medios para sentir seguridad. Además, se pensaba utilizar leds de “alto brillo” para la visualización de caracteres, pero esto genera fatiga sobre todo en personas que se exponen por tiempos prolongados al uso de estos elementos.</p>
<p>Braille teaching electronic prototype</p>	<p>Arduino Mega, módulo de audio mp3DFplayer, módulo bluetooth, leds y display</p>	<p>App</p>	<p>Desarrollar un prototipo electrónico de enseñanza del sistema Braille para establecer un mecanismo de aprendizaje para las personas con discapacidad visual</p>	<p>Las tecnologías de asistencia para facilitar el aprendizaje en personas con discapacidad tienen una alta aceptación y son útiles según la comunidad. Por otra parte, los maestros piden mejoras en la tecnología para la enseñanza. Se llegó a la conclusión que es necesario el avance y la obtención de nuevas tecnologías de asistencia para el aprendizaje y enseñanza de personas con discapacidad visual.</p>
<p>Use of assistive technology for teaching-learning and administrative processes for the visually impaired people</p>	<p>NO APLICA</p>	<p>NO APLICA</p>	<p>Realizar un estudio para evaluar la efectividad del uso de la tecnología de asistencia y los procesos administrativos para las personas con discapacidad visual en Cyprus Turkish Blind Association</p>	

BrailleEnter: A Touch Screen Braille Text Entry Method for the Blind	Teclado BrailleEnter	NO APLICA	Diseñar un método de entrada de texto accesible que permita a las personas con discapacidad visual escribir un texto más fácilmente.	Este teclado permite a las personas ciegas escribir más fácilmente en una pantalla táctil al superar la mayoría de las limitaciones del teclado QWERTY, así como de otros teclados propuestos. Los usuarios pueden escribir basándose en dos tipos de gestos en cualquier lugar de la pantalla y no necesitan preocuparse por ubicar una tecla en una pantalla táctil.
IDMILE: An interactive didactic math inclusion learning environment for blind students	NO APLICA	Eclipse SWT framework with JFace API in the Java programming language.	Diseñar un prototipo de software para apoyar el proceso de aprendizaje de solución de problemas aritméticos básicos para estudiantes con discapacidad visual.	Según los participantes, el sistema podría ayudar en el proceso de aprendizaje. La metodología utilizada puede ser diferente a las empleadas en un salón de clases regular. Solo sirve para Windows
Experimental module for assistive technologies applications	Pic16F, Solenoides, Motores, display LCD	PIC, Assembler	Realizar un módulo experimental que ayude en la transcripción de texto a sistema Braille y que imprima en papel escrito Braille.	Solo unos pocos pudieron hacer uso de la lectura dada por el módulo. No fue diseñado para imprimir correctamente las letras en el alfabeto Braille. Necesita mejoras. Es necesario que los participantes conozcan el sistema Braille.
EyePen: Ease of reading for less-privileged visually impaired people	Lápiz Led, Arduino	ARDUINO	Diseño de un sistema que permita a las personas con discapacidad visual de bajos recursos leer caracteres Braille impresos utilizando tinta convencional e impresoras láser.	Sistema preciso y fácil de utilizar. Los usuarios se adaptaron y no tuvieron inconvenientes para la lectura o escritura. Modificaciones para sacarlo al mercado.
An interactive and multi-functional refreshable Braille device for the visually impaired	USB, Bluetooth, Celdas Braille, Back panels, PIC18F	PIC	Desarrollar un lector de libros con 96 celdas Braille que pueda asegurar la independencia de las personas con discapacidad visual en la lectura.	Sistema con realimentación auditiva, funciona bien y le permite a las personas con discapacidad visual leer textos de computador. Se tienen en cuenta los caracteres especiales, Letras mayúsculas, símbolos matemáticos.

Braille tutor: A gift for the blind	Arduino Mega, altavoz, Bluetooth, Actuadores	ARDUINO, Teraterm	Desarrollar un dispositivo tutor de Braille para el aprendizaje del alfabeto en el sistema Braille, adicionalmente, tiene realimentación auditiva y una interfaz en la que se muestra el trabajo que se está realizando.	Sistema funcional para personas principiantes en Braille, primordialmente para niños. Herramienta de apoyo para los maestros. Útil y de relativamente bajo costo.
SingleTapBraille: Developing a Text Entry Method Based on Braille Patterns Using a Single Tap	Teclado, Arduino.	Plataforma Android	Desarrollo de un teclado que permite escribir las palabras Braille en cualquier parte de la pantalla con realimentación auditiva.	Facilita el manejo de dispositivos táctiles. No enseña Braille, pero tiene un modelo de entrada de caracteres interesante. Funcional y bien construido.
An interactive and intuitive STEM accessibility system for the blind and visually impaired	high-speed refreshable hyerbraille tactile display	SVG Latex editor	Desarrollo de un sistema para la enseñanza de materiales educativos a personas con discapacidad visual.	La transcripción de materiales de tecnología, matemáticas y ciencia es de gran complejidad para las personas con discapacidad visual. El sistema funciona para libros y textos online.
Low cost e-book reading device for blind people	Solenoides, matriz Braille, ATMEGA16, Tarjeta SD	Microcontrolador	Desarrollo de un dispositivo de lectura que contiene 2 celdas Braille cada una con 6 solenoides.	Se logró un diseño portátil, de bajo costo y efectivo. Es útil para personas con discapacidad visual, pero necesita ser un prototipo más real.
BrailleApp: Educational Mobile Application to Assist in the Learning of Braille Language	NO APLICA	Android app	Crear una aplicación de enseñanza Braille para dispositivos móviles.	Dirigida principalmente para personas videntes, esperan poder lograr que personas con discapacidad visual puedan utilizarla fácilmente también. La aplicación cumple con los estándares de aprendizaje de otras aplicaciones con el mismo propósito.
A compliant mechanism design for refreshable braille display using shape memory alloy	Pantalla Braille, Microcontrolador		Desarrollo de un mecanismo de display Braille.	Dispositivo necesita trabajo futuro, aunque es útil, el mecanismo en algún punto dejará de funcionar. Se redujo el consumo de energía y el tamaño y no puede ser usado para pantallas multilinea.

IPPITSU: A one-stroke text entry method for touch panels using Braille system	NO APLICA	App Android	Diseño de una aplicación que permita el uso de dispositivos móviles Android para personas con discapacidad visual.	La aplicación sirve en plataformas Android, en idioma japonés. Pueden crearse textos y manejar mejor el celular.
Educational content creation and sharing by low-income visually impaired people in India	NO APLICA	NO APLICA	Realizar un estudio para examinar los aspectos educativos para la comunidad con discapacidad visual de bajos ingresos en zonas rurales de India, así como los desafíos que enfrentan para acceder a contenido educacional y las soluciones que han desarrollado.	Se encontró que el acceso a herramientas educacionales, es bastante limitado, siendo de baja calidad y poco útiles. Los dispositivos móviles son una gran entrada para educación para las personas con discapacidad visual. La mayoría de los participantes prefiere el material en Braille.
Dots and letters: Accessible braille-based text input for visually impaired people on mobile touchscreen devices	NO APLICA	APP	Diseñar un nuevo método de acceso de texto basado en Braille para pantallas táctiles. (Edge Braille)	Se debe tener en cuenta las medidas. La distancia entre los puntos de la matriz Braille, pero en general el método funciona bien y es aceptado por personas con discapacidad visual. No ponen todo el alfabeto en la pantalla, sino que buscan que sea letra por letra.
Teaching music to blind children: New strategies for teaching through interactive use of Musibraille software	NO APLICA	BRM software development	Desarrollo de una herramienta para la enseñanza de música a niños con discapacidad visual.	Se requiere un previo conocimiento básico en música, debe existir un tutor para la utilización de la herramienta y debe haber un proceso de adaptación a la misma. Es una herramienta innovadora y tiene niveles de baja y alta complejidad La corrección de los sistemas de entrada para el uso efectivo de dispositivos móviles u otros, es necesaria ya que de esto depende que las personas con discapacidad visual puedan tener un mejor acceso a estas herramientas. Existen errores comunes y se determinó que una solución es cambiar la distancia de los puntos. Realimentación auditiva para determinar si se cometió error.
B#: Chord-based correction for multitouch braille input	móvil	Sistema de escritura Braille dispositivo móvil	Desarrollar un sistema de corrección para entrada Braille multitáctil.	

Concept and goal of accessible design for older people	NO APLICA	NO APLICA	Estudio de la tecnología para personas con discapacidad en edad adulta.	Se puede diseñar y construir tecnología para personas con discapacidad visual en edad adulta teniendo en cuenta ciertos parámetros. Por ejemplo, el uso del Braille en las superficies sería de utilidad e incrementaría la compra de las tecnologías. Otro aspecto a tener en cuenta es el volumen de la realimentación auditiva, que esté a un nivel agradable para esta comunidad.
Using ontology and RFID to develop a new Chinese Braille learning platform for blind students	Teclado Braille	SQL Database, Microsoft visual C#, Visual studio	Diseñar un sistema para el aprendizaje del idioma chino para personas con discapacidad. OntoBraille	El mayor aporte de la herramienta es que busca mantener el método de entrada (teclado Braille) para hacer el proceso de aprendizaje. Está en etapa de prototipado y es de bajo costo. Funciona y es de gran utilidad para los maestros.
Strategies for increasing the participation in computing of students with disabilities	NO APLICA	NO APLICA	Mostrar estudios y métodos que sirven para la participación de personas con discapacidad en el campo de computación. (AccessComputing)	Es de gran importancia reconocer y analizar las necesidades de las personas en condición de discapacidad enfocándose en las discapacidades particulares de los individuos. Es de gran utilidad el estudio para comprender como sumergir a esta comunidad en el área de la computación.
Web navigation tool for visually impaired people	Matriz generadora, ATMEGA32,	Microsoft Visual Basic, HTML	Desarrollar un dispositivo de navegación por internet táctil de bajo costo para personas con discapacidad visual	Se logró un sistema de bajo costo y funcional. Debe ser utilizado con internet, consume energía de carga, no sirve muy bien para computadores actuales con nuevas versiones de sistema de operación.
6 dot braille script based adapted computer keyboard for visually impaired	Números de teclado QWERTY como matriz Braille	JAVA	Desarrollo de un nuevo método método de entrada de texto para las personas con discapacidad visual haciendo uso del teclado numérico en teclado QWERTY con entrada Braille.	El software es compatible con todos los sistemas ya que hace uso del teclado que posee el pc, adicionalmente funciona para cualquier idioma ya que la matriz es la misma. El software es básico y no se necesita de un hardware especial para hacer uso de este.

BrailleType: Unleashing Braille over touch screen mobile phones	NO APLICA	App móvil	Desarrollar un sistema de entrada de texto de un solo-toque para dispositivos de pantalla táctil.	BrailleType permite al usuario ciego ingresar texto como si estuviera escribir en Braille usando el código tradicional de matriz de 6 puntos. Tiene realimentación auditiva, es fácil de usar, pero no es tan atractivo para su uso
Electronic reader for the blind based on MCU	AT89S52 MCU	Programación Microcontrolador	Diseñar un lector electrónico de bajo costo, fácil de usar que pueda convertir textos en inglés o chino del computador al código Braille táctil.	El sistema tiene gran potencial, permite escuchar música y además la traducción a Braille es una gran ayuda para acceder a textos para las personas con discapacidad visual. Aún requiere de trabajo. Es necesario hacer el estudio con más personas para obtener datos más confiables. Se estudiaron 2 modos de interacción: táctil y auditivo. Se encontró que los estudiantes tienen dificultades para realizar tareas dadas y que el táctil y la realimentación auditiva son complementarios y deben ser implementados en los sistemas de asistencia.
Accessibility of audio and tactile interfaces for young blind people performing everyday tasks	NO APLICA	NO APLICA	Realizar un estudio relacionado a cómo interactúan las personas ciegas jóvenes con la tecnología para las tareas del día a día.	Los estudiantes tienen dificultades para realizar tareas dadas y que el táctil y la realimentación auditiva son complementarios y deben ser implementados en los sistemas de asistencia.
Assistive technologies for visually impaired individuals in Turkey	Lectores de pantalla de computador, lectores de pantalla de celular, lápiz lector, localizadores, Electrodomésticos adaptados para ciegos, bastones laser.	NO APLICA	Realizar un estudio de los dispositivos de asistencia disponibles para las personas con discapacidad visual.	Las personas con discapacidad visual quisieran poseer dispositivos para la lectura de documentos y señalización, también dispositivos para que les avise sobre obstáculos en el camino. EL producto que fue peor evaluado fueron los electrodomésticos para ciegos ya que no existen muchos disponibles, el costo es muy alto y que debería tener Braille.

Design of a braille writing tutor to combat illiteracy	DSP/Microcontrolador,	Microcontrolador	Creación de un tutor para la escritura Braille que consiste en un tablero electrónico de bajo costo y un lápiz. También tiene una interfaz de computador.	Es difícil crear un dispositivo que sea adaptable para profesores y estudiantes. El dispositivo es útil, pero necesita de más trabajo. Se logró crear un dispositivo de bajo costo y que cumpliera su propósito. Tiene realimentación auditiva con el software instalado.
Problems of quality of convex printouts for the blind people	NO APLICA	NO APLICA	Estudiar los problemas en la calidad de las impresiones para las personas ciegas	Se deben tener en cuenta varios parámetros para el texto Braille, uno muy importante es la altura de los puntos. Otras características como: el diámetro, la distancia entre líneas, la dureza del material, etc..
Mathematics on the web: Emerging opportunities for visually impaired people	NO APLICA	The lambda system, Mathplayer, math genie, mawen, UMCL	Facilitar el acceso a fuentes científicas digitales para personas con discapacidad visual.	Dependiendo del programa, el uso y comprensión de este se dificulta. Deberían ser programas con la misma accesibilidad y facilidad de uso. La única manera en que los documentos se vuelven disponibles es por MathML.
Development of a braille display using piezoelectric linear motors	Celda Braille, Motores piezo- eléctricos, pantalla Braille, Atmega128	Microcontrolador	Desarrollar un sistema de display Braille con motores piezoeléctricos lineales.	La superficie de las celdas Braille es dura, lo cual hace que sea difícil de utilizar durante tiempo prolongado, se debe tener en cuenta la altura de los puntos en la matriz Braille, con mayor trabajo se podría conectar a dispositivos móviles.

Anexo 2. Diagrama de Gantt

ACTIVIDAD	SEMANA																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
INVESTIGACION DEL PROYECTO																	
DATOS DISCAPACIDAD VISUAL NACIONAL/INTERNACIONAL																	
ANALFABETISMO EN POBLACIÓN CON DISCAPACIDAD VISUAL																	
HERRAMIENTAS DE ALFABETIZACIÓN																	
SISTEMA DE LECTO ESCRITURA BRAILLE																	
HERRAMIENTAS DE APRENDIZAJE BRAILLE																	
REVISIÓN LITERARIA																	
AVANCES DE ESCRITURA DE DOCUMENTO																	
DISPOSITIVO																	
DISEÑO DEL DISPOSITIVO																	
ADQUISICIÓN DE MATERIALES																	
IMPRESIÓN 3D DEL PROTOTIPO																	
PROGRAMACIÓN DEL SOFTWARE																	
DESARROLLO PLATAFORMA WEB																	
CONEXIÓN CON EL DISPOSITIVO																	
SISTEMA DE REALIMENTACIÓN AUDITIVA																	
ETAPA DE PRUEBAS																	
VERIFICACIÓN DE CONEXIÓN DEL DISPOSITIVO A LA RED																	
VERIFICACIÓN DE CONSTRUCCIÓN DE LETRAS																	
VERIFICACIÓN DE REALIMENTACIÓN AUDITIVA																	
VERIFICACIÓN DE SERVICIOS																	
REDACCIÓN DOCUMENTO FINAL																	
ENTREGA DOCUMENTO FINAL																	
PRESENTACIÓN																	

SEMANA	FECHA	
	INICIO	FINAL
1	2-Aug	8-Aug
2	9-Aug	15-Aug
3	16-Aug	22-Aug
4	23-Aug	29-Aug
5	30-Aug	5-Sep
6	6-Sep	12-Sep
7	13-Sep	19-Sep
8	20-Sep	26-Sep
9	27-Sep	3-Oct
10	4-Oct	10-Oct
11	11-Oct	17-Oct
12	18-Oct	24-Oct
13	25-Oct	31-Oct
14	1-Nov	7-Nov
15	8-Nov	14-Nov
16	15-Nov	21-Nov
Informe final	22-Nov	
Sustentacion	7-Dec	