

**DESARROLLO DE UN MÓDULO “OFF-LINE” QUE PERMITA EL FUNCIONAMIENTO  
DE UN DISPOSITIVO DE APRENDIZAJE DEL ALFABETO BRAILLE**

**LAURA ALEJANDRA NEIRA LAGOS**

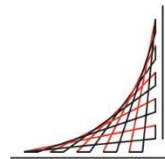
**Trabajo Dirigido**

**Tutor**

**Ing. Daniel Alejandro Quiroga Torres**



**Universidad del  
Rosario**



**ESCUELA  
COLOMBIANA  
DE INGENIERÍA  
JULIO GARAVITO**

**UNIVERSIDAD DEL ROSARIO  
ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO  
PROGRAMA DE INGENIERÍA BIOMÉDICA  
BOGOTÁ D.C  
2021**

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es la representación tangible de cada uno de los esfuerzos que hoy en día dan frutos, hoy después de cinco años puedo decir que termine una de las etapas más gratificantes de mi vida. Quiero agradecer a mis padres por su apoyo incondicional, su amor y paciencia, por sus palabras de aliento y por estar a mi lado día tras días dándome ejemplo, de manera especial quiero expresar toda la gratitud a mi madre, la persona más fuerte que conozco, quien nunca se rinde y me enseña todos los días que, aunque las cosas se pongan difíciles y nuestra vida este llena de obstáculos siempre habrá una razón para luchar y seguir adelante. Solo puedo decir que todo lo que soy se los debo a estas personas maravillosas y que llegar hasta aquí es un logro compartido.

Agradezco a mi familia, mis tíos y primos por siempre estar ahí, pero no solo ellos son mi familia, mis amigos, esos amigos que me acompañaron en este proceso, con risas y llantos, por aguantarme y escucharme incluso cuando lo que digo no tiene sentido. A mi alma gemela Daniela Pineda, porque estuvo desde el día cero y aunque hoy nada es igual la quiero con todo mi corazón y a Stefania Degiovanni por cuidarme hasta de manera internacional, por nunca cansarse de mis chistes flojos y mis malas caras que jamás puedo disimular.

A mi tutor y maestro Daniel Quiroga, no podría estar más agradecida con alguien que como lo estoy con él, agradezco su apoyo incondicional, su constancia, su disposición a enseñar, pero por sobre todas las cosas agradezco que me haya dado la oportunidad de aprender y trabajar en este proyecto que me enseñó que nuestro granito de arena puede ayudar a aquellos que tanto lo necesitan.

Por último, quiero agradecer la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, la Universidad del Rosario y a sus docentes por darme la oportunidad de aprender y formarme académica y personalmente.

## RESUMEN

Al rededor de 2.200 millones personas en el mundo sufren de alguna discapacidad visual. En el país el 62.17% de la población con discapacidad tiene al menos una discapacidad visual. Además, el 83% de las personas con discapacidad en Colombia pertenecen a los estratos socioeconómicos uno y dos, lo que en consecuencia podría dificultar el acceso a tecnologías de pago o que necesiten acceso a internet.

Adicionalmente se estima que de esta población la tasa de analfabetismo es del 14.2%, lo cual representa un reto, teniendo en cuenta que para la alfabetización de personas con discapacidad visual es fundamental hacer uso sistema de lectoescritura Braille. Sin embargo, las posibilidades que existen para acceder a este sistema son limitadas ya que normalmente los usuarios deben movilizarse largos trayectos para acceder a los diferentes cursos que se imparten para el aprendizaje de Braille, las tecnologías de apoyo son de alto costo o hacen uso de internet y normalmente las alternativas existentes necesitan de un educador con experiencia en Braille.

Este proyecto nace con el objetivo de desarrollar un módulo sin conexión a internet que permita la comunicación bidireccional y el funcionamiento eficaz de un dispositivo de apoyo para el aprendizaje del sistema Braille y un sitio web que brinde realimentación auditiva y visual a los usuarios.

Se planteó una metodología que se basa en cinco fases divididas en: revisión literaria, ajustes al hardware y software, verificación y validación del sistema en conjunto (software y hardware), elaboración del manual y evaluación de accesibilidad.

Como resultado se obtuvo una plataforma web funcional que cumple con las pautas de accesibilidad WGAC y tiene un nivel de conformidad AA. Además, el sitio web se conecta de manera bidireccional a un dispositivo que representa el símbolo generador del sistema Braille. Asimismo, brinda a los usuarios realimentación visual y auditiva. La página web y el dispositivo pueden funcionar en su modalidad off-line haciendo o no uso de un ordenador.

Adicionalmente, la herramienta en su modalidad off-line obtuvo un valor de exactitud y precisión del 100%, motivo por el cual se establece que la herramienta apoya el proceso de alfabetización, teniendo en cuenta que permite representar todos los símbolos del alfabeto Braille en español.

Se concluye que la implementación del módulo off-line en el proyecto convierte a la herramienta en una tecnología versátil, que puede utilizarse en múltiples entornos ya que puede funcionar en modalidad off-line u on-line, evitando así el sesgo que hay de la cantidad de tecnologías que podrían necesitar el acceso a internet o el desplazamiento a lugares alejados.

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	8
2. OBJETIVOS .....	11
2.1. General.....	11
2.2. Específicos .....	11
3. MARCO TEÓRICO .....	12
3.1. Protocolo MQTT (Message Queue Telemetry Transport) .....	13
3.2. Websockets .....	13
3.3. Redes .....	14
3.3.1. Red de Área Local (LAN).....	14
3.3.2. Red de Área Local Inalámbrica (WLAN) .....	14
3.4. Accesibilidad Web .....	14
3.4.1. Pautas de accesibilidad al contenido web (WCAG) .....	15
4. REVISIÓN DE LITERATURA.....	17
4.1. Resultados de la revisión.....	18
4.2. Conclusiones .....	22
5. METODOLOGÍA .....	23
5.1. Revisión literaria .....	23
5.2. Ajustes al Software y Hardware .....	23
5.3. Verificación y validación del sistema.....	26
5.4. Evaluación de Accesibilidad .....	28
6. RESULTADOS .....	29
6.1. Sitio Web .....	29
6.2. Modulo off-line .....	31
6.3. Pruebas de verificación y validación .....	32
6.4. Evaluación de Accesibilidad .....	33
7. DISCUSIÓN.....	35
8. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS .....	37
9. CONCLUSIONES .....	38
REFERENCIAS .....	39
ANEXOS.....	46
Anexo 1. Diagrama de Gantt .....	46
Anexo 2 Mapa del sitio web.....	47
Anexo 3. Valores de verificación alfabeto español .....	48

Anexo 4. Manual de Usuario ..... 49

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Símbolo generador y alfabeto Braille en español [16].	9
Fig. 2 Arquitectura de IoT (tres capas).	12
Fig. 3 Protocolo MQTT [28].	13
Fig. 4 Diagrama de flujo de selección artículos de la revisión de literatura.	18
Fig. 5 Ejemplo de algunas tecnologías identificadas en la revisión. a. Tomado de [45], b. Tomado de [44], c. Tomado de [46] ,d. Tomado de [47].	20
Fig. 6 Metodología propuesta por etapas.	23
Fig. 7 Dispositivo y sus respectivos componentes.	26
Fig. 8 Protocolo de verificación del sistema en su módulo off-line.	27
Fig. 9 Cabecera página de inicio.	29
Fig. 10 Footer de la página web.	29
Fig. 11 Página web para configuración de red.	32

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características de los estudios.....	20
Tabla 2 Matriz de Confusión [104]. .....	27
Tabla 3 Resultados matriz de confusión verificación símbolos.....	32
Tabla 4 Exactitud y precisión del sistema. ....	33
Tabla 5 Porcentajes evaluación accesibilidad a partir de [105]. .....	33
Tabla 6 Clasificación de nivel accesibilidad. ....	34
Tabla 7 Clasificación y porcentaje de accesibilidad. ....	34

## 1. INTRODUCCIÓN

La discapacidad es definida según la Organización Mundial de la Salud (OMS) como un término que abarca los problemas relacionados con la estructura o función corporal, las limitaciones presentes en el desarrollo de actividades y las restricciones de la participación en la sociedad [1]. Por lo tanto, se entiende como una persona con discapacidad aquella que tiene algún tipo de deficiencia, ya sea física, mental, intelectual o sensorial, que, en interacción con diferentes barreras, dificulta su participación efectiva en la sociedad, en igualdad de condiciones con otras personas [2].

Particularmente, las personas con discapacidad visual tienen una limitación total o parcial de la funcionalidad de la visión, lo cual implica una dificultad para llevar a cabo de forma autónoma las actividades de la vida diaria. A su vez, dichas limitaciones generan ciertas barreras para el acceso y la participación de la persona en diferentes entornos, como: educación, trabajo, ocio, entre otros [3].

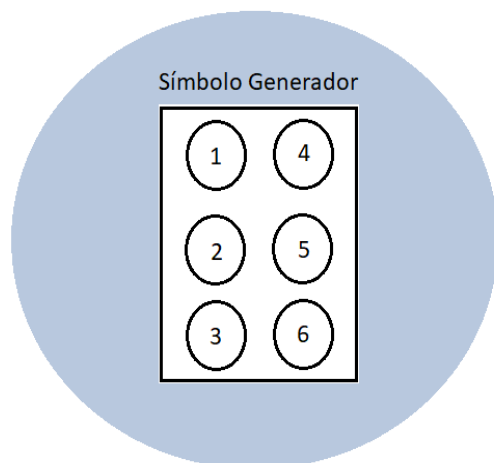
La OMS en el año 2019 publicó un reporte llamado “World report on vision” en el cual informa que al menos 2.200 millones de personas en el mundo tienen al menos una discapacidad visual [4]. En Colombia, el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) determinó por medio del Censo de Población y Vivienda de 2018 que 3'134.036 personas se encuentran en condición de discapacidad, de las cuales 1'948.332 tienen discapacidad visual, equivalente al 62.17% de la población con discapacidad en Colombia [5].

El 83% de las personas con discapacidad en Colombia pertenecen a los estratos socioeconómicos uno y dos, a su vez, el 2.9% no tiene ningún servicio público en su vivienda [6], por lo cual se infiere que esta población no tiene acceso a internet, en consecuencia representa una limitación para relacionarse, acceder, intercambiar, producir información o conocimiento e interactuar con otros [7].

Teniendo en cuenta que las personas con discapacidad visual tienen barreras tanto físicas como sociales para acceder a la educación y que ocupan un alto porcentaje de la población con discapacidad en Colombia, es relevante la exploración de la cantidad de personas en condición de discapacidad que son analfabetas. Según la Gran Encuesta Integrada de Hogares (GEIH), del DANE, la tasa de analfabetismo registrada en el año 2017 fue de 5.24% lo que equivale a 1'857.000 colombianos [8] y se estima que de la población en condición de discapacidad la tasa de analfabetismo es del 14.2% [9]. Está demostrado que una pobre alfabetización lleva a un desarrollo de la competencia en comunicación limitado y a unos resultados escolares bajos, así como, sitúa a las personas en una escala social y laboral deficiente [10], este hecho se evidencia y es concordante con las estadísticas del país ya que la tasa de desempleo para la población con discapacidad visual en Colombia fue del 62% en el año 2015 [11], quiere decir que en el ámbito laboral es muy importante el nivel educativo.

El Braille nace como una herramienta de alfabetización para personas con discapacidad visual [12]; es un sistema que permite la lectura y escritura eficaz guiándose solo por el tacto, de modo que permite a las personas acceder a la educación, a la cultura y a la información. El sistema Braille representa cada letra dentro de una matriz que recibe el nombre de “símbolo generador” (ver Fig. 1). Este símbolo se estructura como una figura rectangular, conformada por dos columnas de 3 puntos cada una, teniendo así 6 puntos en relieve [13], diferentes combinaciones de puntos en el símbolo generador forman diversas

letras, signos y números [14]. En la actualidad el Braille es una herramienta imprescindible para lograr la inclusión en el ámbito escolar, social y laboral de las personas que tienen alguna discapacidad visual, a su vez, este sistema favorece la expresión, la comunicación y beneficia la autonomía personal [15].



a (1)	⠁	j (245)	⠵	r (1235)	⠗	á (12356)	⠁
b (12)	⠃	k (13)	⠵	s (234)	⠎	é (2346)	⠑
c (14)	⠉	l (123)	⠵	t (2345)	⠞	í (34)	⠇
d (145)	⠙	m (134)	⠵	u (136)	⠜	ó (346)	⠤
e (15)	⠑	n (1345)	⠵	v (1236)	⠞	ú (23456)	⠤
f (124)	⠋	ñ (12456)	⠵	w (2456)	⠞	û (1256)	⠤
g (1245)	⠵	o (135)	⠵	x (1346)	⠞		
h (125)	⠈	p (1234)	⠵	y (13456)	⠞		
i (24)	⠇	q (12345)	⠵	z (1356)	⠞		
<hr/>							
,	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)	⠂				
<i></i>	italics open and close	(35...35)	⠂				

Fig. 1 Símbolo generador y alfabeto Braille en español [16].

En Colombia se encuentran varios institutos encargados de la enseñanza del sistema de lectoescritura Braille. Específicamente, el Instituto Nacional para Ciegos (INCI) es la entidad que orienta la organización, planeación y ejecución de las políticas a nivel nacional, dirigidas a la educación inclusiva de las personas con discapacidad visual [16]. El INCI brinda cursos y talleres de Braille gratuitos, sin embargo, dichas iniciativas únicamente están disponibles de manera presencial en la ciudad de Bogotá lo cual afecta a las personas que se encuentran en zonas rurales que están fuera de la capital, ya que difícilmente tienen acceso a estos recursos [17]. Adicionalmente el instituto elaboró tutoriales de Braille que pueden ser descargados a través de internet, no obstante, alrededor de 23.8 millones de colombianos no tienen acceso a este servicio [18], quiere decir que más de la mitad de la población en Colombia no podría tener acceso a estos tutoriales.

El INCI por medio de diferentes iniciativas ha fomentado el uso del Braille en diversos ámbitos, por ejemplo, dota de material en braille a las escuelas y colegios de todo el país, se encarga de imprimir las tarjetas electorales, recibos de servicios públicos, letreros en las paradas de bus y la señalización básica en entidades privadas y públicas en el sistema braille [19].

En vista de que la alfabetización por medio de Braille es muy importante, han surgido una serie herramientas dedicadas al aprendizaje y la enseñanza del sistema. En los desarrollos se encuentran instrumentos manuales para el aprendizaje del sistema Braille, por ejemplo, las regletas y los punzones, herramientas muy útiles y de bajo costo [20], sin embargo, el proceso completo de lectoescritura con estas alternativas representa un gran desafío para aquellas personas que están en la fase de aprendizaje. Por otro lado, se encuentran herramientas más avanzadas como las máquinas de escribir o algunas mucho más tecnológicas como tutores de Braille electrónicos, dispositivos que cuentan con un punzón y una plancha electrónica en donde se rastrea el contacto entre la plancha y el punzón, y un software da una respuesta audible inmediata, a pesar de que estas herramientas son útiles e innovadoras [21], un bajo porcentaje de la población puede tener acceso a ellas ya que estas tecnologías tienen costos muy altos, requieren una conexión a internet o necesariamente necesitan la presencia de un experto en el sistema Braille.

Este proyecto surge con el objetivo de realizar una extensión del trabajo dirigido desarrollado en la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito en conjunto con la Universidad del Rosario “Validación de un Dispositivo para Apoyar el Aprendizaje y la Enseñanza del Sistema Braille” [22], proyecto en el cual se elaboró una herramienta que implementa un método de aprendizaje del sistema Braille dividido en cinco fases: alfabetización, habilidades previas a la enseñanza formal del Braille, Prebraille, Braille formal y Braille [10]. La herramienta se compone por una página web que logra la comunicación bidireccional entre un dispositivo que permite la configuración de símbolos para la construcción de letras, números y signos de puntuación en el sistema Braille y el sitio web. Entre los beneficios de este proyecto se encuentra el bajo costo de la tecnología y el avance en la educación personalizada de las personas con discapacidad visual ya que podría disminuir la demanda de los expertos en el sistema Braille, lo que al final generaría mayor autonomía al usuario, sin embargo, estas características aún no se han medio y deberían poder dimensionarse en el futuro. Adicionalmente el acceso a esta herramienta tecnológica solo es posible si hay conexión a internet.

Teniendo en cuenta lo anterior, el presente proyecto busca elaborar un módulo “off-line”, es decir, que no requiera de conexión a internet para que funcione y pueda ser usada en cualquier lugar, que actúe en conjunto con el dispositivo de apoyo en el proceso de aprendizaje del sistema Braille [22] y que brinde la realimentación visual y auditiva al usuario.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. General**

Desarrollar un sistema que permita el funcionamiento off-line del dispositivo de apoyo en el proceso de enseñanza y aprendizaje del sistema de lectoescritura Braille.

### **2.2. Específicos**

- a. Generar una red de área local inalámbrica (WLAN) sin internet, que permita la comunicación bidireccional y el uso eficaz del dispositivo y el módulo.
- b. Implementar una plataforma web que funcione sin conexión a internet (“off-line”) y que permita una comunicación bidireccional entre el dispositivo y sitio web.
- c. Generar un sistema de realimentación auditiva de las posiciones de la matriz según los símbolos configurados en el dispositivo para el apoyo de la enseñanza del sistema Braille.
- d. Elaborar un manual de usuario que especifique los modos de uso y funcionamiento de la herramienta.
- e. Evaluar si el sitio web cumple con los criterios de accesibilidad y permite a las personas percibir, entender e interactuar con la web.

### 3. MARCO TEÓRICO

El internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés), ha tenido un crecimiento exponencial con el paso de los años, ha tenido un gran avance en la mundo de las comunicaciones, ya que es muy versátil, ofrece desde el monitoreo de dispositivos pequeños hasta recolección avanzada de datos desde servidores remotos y puede incursionarse en diferentes y múltiples sectores en la industria, un claro ejemplo de ello es el sector ambiental, el sector salud, transporte y manufactura [23].

En su estado más general IoT abarca todas aquellas tecnologías que se encuentran conectadas a Internet, sin embargo, si se es más específico el IoT puede conectar dispositivos a varias redes para proporcionar servicios eficientes y seguros para cualquier tipo de aplicación sin importar el momento y el lugar [24]. Quiere decir que IoT se entiende como una red de dispositivos inteligentes interconectados que permiten la recolección de información, el procesamiento de la misma y el manejo de algunos dispositivos y herramientas físicas en función del procesamiento realizado [25]. Actualmente estas “cosas” que se manejan o se encuentran conectadas en IoT no necesariamente se limitan a dispositivos, pueden ser información, objetos, comportamientos humanos, etc.

La arquitectura es un tema fundamental cuando hablamos de IoT, normalmente la arquitectura que se utiliza en IoT consta de tres capas fundamentales (Ver Fig. 2), las cuales serán descritas a continuación:

1. **Capa de percepción:** Esta es la capa inferior en la arquitectura de IoT y es la cual se encarga de la recolección de datos y mediciones [26], los cuales se procesan y transmiten a la capa superior a través de interfaces de capa. En esta capa se encuentran dispositivos inteligentes como sensores y actuadores que interactúan con dispositivos y componentes físicos [27].
2. **Capa de comunicación o red:** Esta capa esta encargada de recibir la información proporcionada por la capa de percepción y determinar las rutas para transmitir los datos y la información a los dispositivos y las aplicaciones a través de diferentes protocolos y redes [27].
3. **Capa de aplicación:** Es la capa superior de la arquitectura, en esta capa se reciben los datos transmitidos desde la capa de red y se usan para proporcionar los servicios u operaciones requeridos [28].

<b>Capa de Aplicación</b>	Servicios
<b>Capa de Red</b>	Protocolos y redes
<b>Capa de percepción</b>	Sensores y actuadores

Fig. 2 Arquitectura de IoT (tres capas).

Actualmente existen una serie de estándares y protocolos de IoT que se utilizan para simplificar y facilitar el trabajo de proveedores de servicio y la aplicación de los programadores.

### 3.1. Protocolo MQTT (Message Queue Telemetry Transport)

MQTT es un protocolo de código abierto de transporte de mensajería que tiene como objetivo conectar dispositivos integrados y redes con aplicaciones y conexiones intermedias y enviar datos entre si [28]. MQTT utiliza un mecanismo de publicación/suscripción asíncrona (ver Fig. 3) en donde los clientes se suscriben a los tópicos y la publicación hace posible el intercambio de información entre los clientes y el tópico al que se han suscrito [29].

El protocolo MQTT consta de tres componentes: suscriptor, publicador y broker. Un dispositivo interesado tendría el papel de cliente, el cual se registraría como suscriptor de temas específicos por medio de los tópicos y recibirá la publicación que haga el servidor acerca de los temas de interés [28].

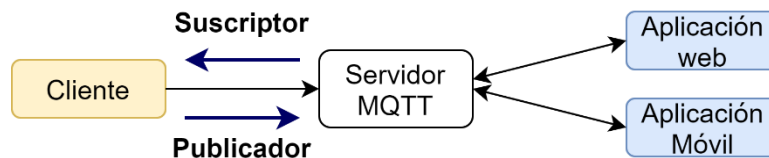


Fig. 3 Protocolo MQTT [28].

Actualmente el protocolo MQTT se usa en múltiples aplicaciones, por ejemplo: atención médica, monitoreo de temperatura, medidor de energía y notificaciones de Facebook. Algunas características de MQTT son: (1) que es un protocolo de código abierto simple, (2) ha sido diseñado para que su implementación sea fácil y (3) permite su uso en entornos en donde el ancho de banda de la red es bajo. Estas características hacen a MQTT ideal para su uso en diferentes escenarios, incluidos entornos restringidos, como la comunicación en contextos de máquina a máquina (M2M) y en IoT [29].

### 3.2. Websockets

Los Websockets son un protocolo de comunicación basado en el Protocolo de Control de Transmisión (TCP), permite la comunicación bidireccional entre un cliente y un servidor. Websockets está diseñado con el objetivo de reemplazar aquellas tecnologías de comunicación bidireccional que hacen uso del Protocolo de Transferencia de Hipertexto (HTTP) en su capa de transporte. En este protocolo los clientes y servidores transfieren datos de un lado a otro en unidades conceptuales denominadas "mensajes" [30].

El protocolo Websockets intenta abordar los objetivos de las tecnologías HTTP bidireccionales existentes en el contexto de la infraestructura HTTP. Este protocolo está diseñado para funcionar a través de los puertos HTTP 80 y 443, así como para admitir intermediarios y proxies HTTP. Sin embargo, es importante tener en cuenta que este protocolo es independiente de HTTP y está basado en el protocolo de control de transmisión (TCP), su única relación con HTTP es que los servidores HTTP interpretan su protocolo de enlace como una solicitud de actualización [30].

### **3.3. Redes**

El término red hace referencia a un conjunto de sistemas informáticos independientes conectados entre sí. Estas conexiones hacen posible un intercambio de datos bidireccional, para que este proceso sea posible es necesario tener tanto la conexión física como la conexión lógica de los sistemas [31]. Una red puede ser tan pequeña como dos ordenadores o tan grande como miles de millones de dispositivos conectados entre sí. En la actualidad las redes modernas pueden incluir computadores portátiles, tabletas, teléfonos inteligentes, televisores, consolas de juegos, electrodomésticos inteligentes y otros dispositivos [32].

#### **3.3.1. Red de Área Local (LAN)**

Las redes de área local (LAN por sus siglas en inglés) son el tipo de red más extendido que existe actualmente. Estas redes se utilizan usualmente para el intercambio de datos y recursos entre los dispositivos que se encuentran ubicados en un área limitada y específica, como por ejemplo instituciones educativas, hogares, oficinas, entre otras [33]. Un estándar general y muy frecuente para redes LAN por cable es Ethernet, sin embargo, no es la única alternativa que existe, otras opciones son: las tecnologías como la red informática de recursos adjuntos (por sus siglas en inglés, ARCNET), interfaz de datos distribuidos por fibra (por sus siglas en inglés, FDDI) y Token Ring. En donde la transmisión de datos se da a través de cables de cobre o mediante fibra óptica de vidrio [31].

#### **3.3.2. Red de Área Local Inalámbrica (WLAN)**

Una red de área local Inalámbrica (WLAN), es un sistema de transferencia y comunicaciones de datos el cual no requiere que los dispositivos que la componen tengan que estar cableadas entre sí, es una red que permite que los dispositivos se conecten y se comuniquen de forma inalámbrica. A diferencia de una LAN con cable tradicional, en la que los dispositivos se comunican a través de cables Ethernet, los dispositivos de una WLAN se comunican a través de fidelidad inalámbrica (WiFi) [34].

Por lo general, los dispositivos que se han desarrollado en los últimos años se agregan y configuran mediante el protocolo de configuración dinámica de host (DHCP). Los dispositivos en WLAN pueden comunicarse con otros dispositivos en la red de la misma manera que lo harían en una red cableada LAN, sin embargo, en este caso la transmisión de datos se hace de manera diferente, los datos en las redes LAN se transmiten a través de cables físicos en una serie de paquetes Ethernet. En una WLAN, los paquetes se transmiten por aire [34].

Actualmente las personas adquieren comúnmente enrutadores inalámbricos, dichos enrutadores sirven como estación base y proporcionan conexiones inalámbricas a cualquier dispositivo habilitado para Wi-Fi dentro del alcance de la señal inalámbrica del enrutador. Dentro de estos dispositivos se encuentran computadores portátiles, tabletas, teléfonos inteligentes y otros dispositivos inalámbricos [34].

### **3.4. Accesibilidad Web**

Accesibilidad web hace referencia a un diseño web que permite que las personas con discapacidad o personas de edad avanzada que tienen reducidas sus habilidades visuales,

auditivas, físicas, entre otras, puedan percibir, entender, navegar e interactuar con la web, cuando la misma está aportando contenidos [35].

Actualmente millones de personas con discapacidad no pueden utilizar la web, la mayoría de los sitios y los aplicativos web presentan barreras de accesibilidad, lo que dificulta o imposibilita la utilización de la web. Pero la accesibilidad web beneficia también a organizaciones y a personas sin discapacidad. Un principio básico de la accesibilidad Web es la flexibilidad, la cual va a beneficiar a todas aquellas personas que utilizan la web, incluyendo personas que no tienen ninguna discapacidad pero que tienen dificultades para acceder a la web, por ejemplo: una conexión lenta a internet o aquellas personas que sufren una incapacidad transitoria o personas de edad avanzada [35].

La web es un recurso que día tras día adquiere mayor valor en la sociedad, este recurso hoy en día se encuentra presente prácticamente en todos los aspectos de la vida, por ejemplo: educación, sanidad, empleo, entretenimiento, entre otros. Por este hecho es muy importante que la web sea accesible para así proporcionar un acceso equitativo e igualdad de oportunidades a las personas con discapacidad. Una página web accesible es una herramienta fundamental para proporcionar acceso equitativo e igualdad de oportunidades a las personas, así como podría ayudar a las personas con discapacidad a que participen más activamente y contribuyan de forma más eficiente en la sociedad [35].

El World Wide Web Consortium (W3C), propone la Iniciativa de Accesibilidad Web (WAI). Dicha iniciativa desarrolla directrices que son consideradas el estándar internacional para la accesibilidad web. WAI busca la accesibilidad de la web a través de actividades, como: asegurar que los estándares del W3C apoyen la accesibilidad, desarrollar pautas de accesibilidad para contenido de aplicaciones web, mejorar las herramientas de evaluación de la accesibilidad web y apoyar la educación y la divulgación sobre accesibilidad web [36].

### 3.4.1. Pautas de accesibilidad al contenido web (WCAG)

Las pautas de accesibilidad al contenido web (WCAG) proporcionan un estándar compartido único para la accesibilidad al contenido web que satisface las necesidades de individuos, organizaciones y gobiernos a nivel internacional [37]. Seguir estas pautas hará que el contenido web sea accesible para una gama más amplia de personas con discapacidades, que incluyen ceguera y baja visión, sordera, pérdida auditiva, problemas de aprendizaje, limitaciones cognitivas, movimiento limitado, discapacidades del habla, entre otras [38].

Estas pautas se organizan y están dadas de acuerdo con cuatro principios generales, quiere decir que cualquier contenido que se encuentre en una página web debe ser [38]:

1. **Perceptible:** El contenido debe poder percibirse por los usuarios por alguno de sus sentidos.
2. **Operable:** La interfaz o el sitio web no puede requerir una interacción que un usuario no pueda realizar.
3. **Entendible:** Los usuarios deben poder comprender la información, el contenido y el funcionamiento del sitio web.
4. **Robusto:** El contenido debería poder ser interpretado de manera confiable por una amplia variedad de agentes de usuario.

Es importante tener en cuenta que las WCAG no solo son un estándar que brinda las pautas para la información natural como lo es el texto, las imágenes y sonidos sino también

para toda aquella información que no es perceptible para los usuarios como lo es el código o marcado que define estructura y presentación de la página web [37].

WCAG 2.0 y WCAG 2.1 son estándares técnicos estables que sirven como referencia en el desarrollo web, estos estándares tienen una serie de pautas que se basan en los cuatro principios descritos anteriormente y permiten que el contenido de un sitio web pueda clasificarse como “conforme” en tres niveles: nivel A, nivel AA y nivel AAA, siendo A el nivel más básico de conformidad y AAA el nivel más alto [37].

## 4. REVISIÓN DE LITERATURA

El objetivo de esta revisión es caracterizar el estado del arte de los dispositivos y las tecnologías de asistencia que se han desarrollado para el aprendizaje del sistema Braille. La revisión sistemática se realizó en base a la declaración PRISMA (Elementos de informe preferidos para revisiones sistemáticas y metaanálisis). Dicha declaración propone algunos de métodos para identificar, seleccionar, evaluar y sintetizar estudios en una revisión [39].

Los artículos se identificaron mediante la búsqueda en bases de datos electrónicas. La búsqueda se realizó en las siguientes bases de datos: Scopus, Pubmed e IEEE Xplore. En una primera versión se realizó la indagación de artículos incluyendo términos como “off-line” o “sin conexión” dentro de la ecuación de búsqueda, sin embargo, el estudio era sesgado de manera drástica y no se obtenían resultados significativos. Por ello se definieron tres grupos de palabras clave teniendo en cuenta que términos disminuían la obtención de documentos y que clase de artículos se querían identificar a través de la búsqueda:

1. **Sistema:** Braille system, Braille.
2. **Tecnología:** Device, assistive technology, technology, tool, machine.
3. **Aprendizaje:** Learning, teaching, educate, written language.

Los artículos se extrajeron de las bases de datos electrónicas nombradas anteriormente, utilizando los grupos de palabras clave propuestas y las combinaciones de operadores lógicos "AND" y "OR" como se observa a continuación:

**Ecuación de búsqueda:** ((Braille OR "Braille system") AND (device OR "assistive technology" OR technology OR tool OR machine) AND (learning OR teaching OR educate OR "written language")).

Se establecieron una serie de criterios de exclusión e inclusión a partir del objetivo de la revisión y de la información que se iba recolectando a medida que se inspeccionaban los artículos. Dichos criterios posteriormente fueron aplicados a los documentos hallados por medio de la búsqueda, obteniendo así los artículos que son apropiados para esta investigación.

- **Criterios de inclusión:**
  1. Dispositivos de asistencia, apoyo y aprendizaje del sistema Braille.
  2. Tecnologías utilizadas y diseñadas para personas con discapacidad visual.
  3. Dispositivos y alternativas no invasivas.
  4. Artículos en inglés y español.
  5. Artículos del año 2010 en adelante.
  6. Prototipos que tienen un nivel de madurez de la tecnología (TRL, por sus siglas en inglés) superior a 3.
- **Criterios de exclusión:**
  1. Artículos relacionados con estudios estructurales y anatómicos del cuerpo humano.

2. Dispositivos que apliquen electroestimulación o vibración.
3. Resúmenes de conferencias.
4. Artículos de revisión, estudios comportamentales o encuestas.
5. Artículos que no usen herramientas tecnológicas.
6. Pruebas realizadas en animales.
7. Artículos que no estén disponibles.

Las bases de datos de búsqueda proporcionaron 533 artículos, después, se rechazaron los artículos duplicados, obteniendo así 453. A continuación, se descartaron 354 artículos a partir de los criterios de inclusión y exclusión a la hora de inspeccionar el título, el resumen y las palabras clave. Los textos completos de los artículos restantes se examinaron con detalle. Se encontró que 42 estudios no cumplieron con los criterios de inclusión o exclusión propuestos, obteniendo así 57 artículos. Ver el diagrama de flujo en la Fig. 4.

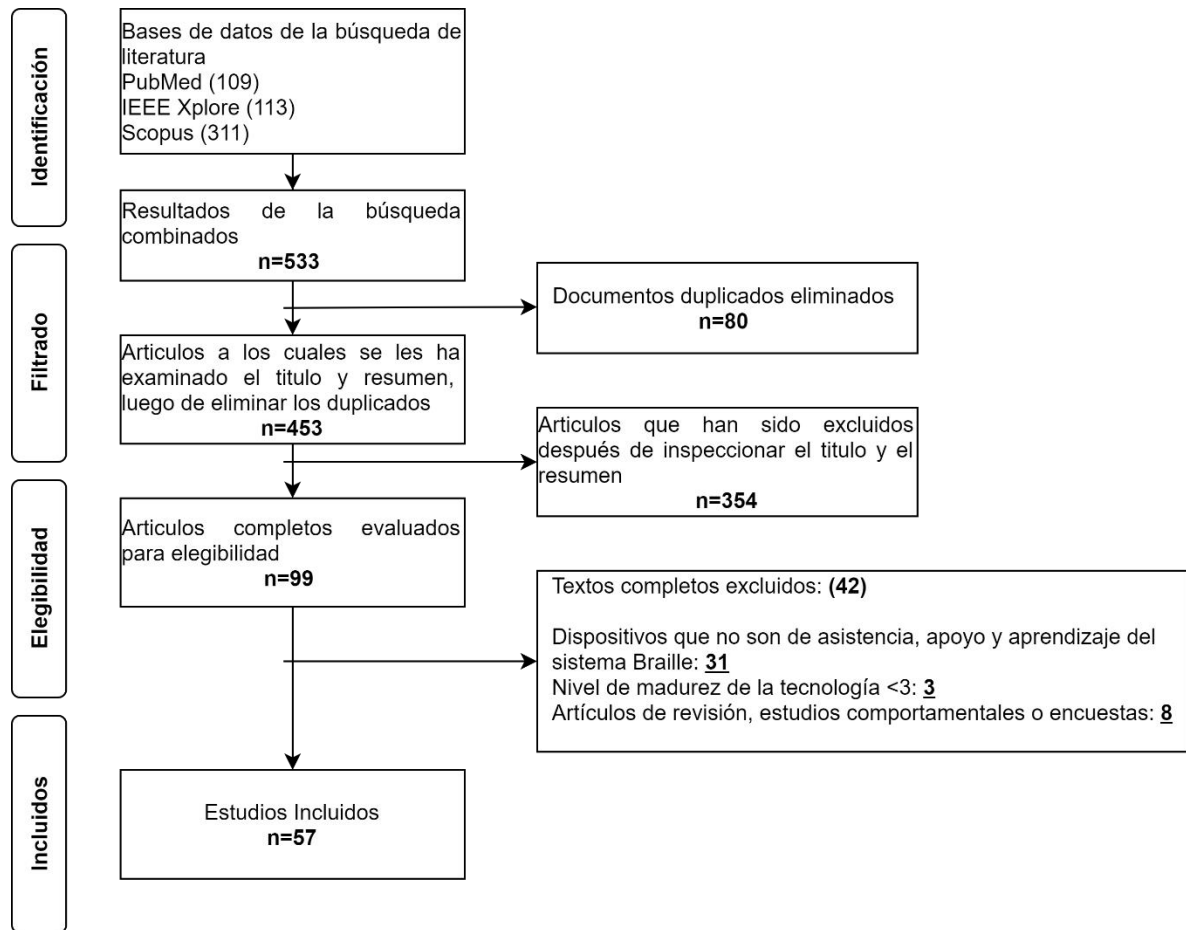


Fig. 4 Diagrama de flujo de selección artículos de la revisión de literatura.

#### 4.1. Resultados de la revisión

Todos los documentos que han sido aceptados en esta revisión tienen el común denominador que el dispositivo o la tecnología que han desarrollado tiene como objetivo apoyar el aprendizaje del alfabeto Braille. Se observa que el desarrollo de las tecnologías

que existen en la actualidad apunta a dispositivos portables y de bajo costo, así como aplicaciones que puedan ser instaladas en los dispositivos tales como tabletas, teléfonos inteligentes o computadores. A su vez, se evidencia un interés creciente por desarrollar juegos que puedan incentivar el aprendizaje y la enseñanza de Braille.

El 75.44% de los artículos tiene como objetivo general desarrollar un prototipo, un software o una tecnología de asistencia que sirva como soporte o refuerzo para el aprendizaje de la lectura y escritura del alfabeto Braille, mientras que el 24.56% restante presenta tecnologías que, aunque no tienen como objetivo enseñar el sistema Braille, pueden ser utilizados con este fin.

Dentro de la revisión se observa que el 8.77% de los documentos describen juguetes, aplicaciones o software ya sea de juego o no, que enseñan Braille o incentivan el aprendizaje de este a través de juegos. El uso de estas herramientas podría ser creciente en el futuro ya que puede ser más estimulante para los usuarios el aprendizaje y la evaluación de los conocimientos adquiridos [40].

El 54.39% de los artículos hace uso o propone como solución aplicaciones informáticas, móviles, software o interfaces gráficas, ya sea para su uso independiente o en conjunto con otras herramientas. Se infiere que el uso recurrente de soluciones de este tipo se da porque un alto porcentaje de la población tiene acceso a teléfonos inteligentes, tabletas o computadores, dispositivos en los cuales usualmente se puede tener acceso a las aplicaciones o interfaces, lo cual significaría que el acceso a estas soluciones es mucho más sencillo.

Una característica relevante que se evidencia en los documentos es el tipo de realimentación que brinda la tecnología a los usuarios. El 12.28% de los artículos reportan que las tecnologías brindan a los usuarios realimentación auditiva, ya que entregan comandos de voz, ya sea para dar instrucciones, responder a requerimientos o generar audio teniendo en cuenta los símbolos del Braille. El 22.8% de los estudios utilizan realimentación visual, en donde se observan instrucciones o respuestas a requerimientos por medio de celulares inteligentes, computadores, Leds, pantallas LCD o matriz de Leds. El 14.04% de los artículos reportan el uso de realimentación háptica, táctil o vibrotáctil. Los usuarios pueden recibir vibraciones por medio de los dispositivos o la tecnología puede tener salidas que pueden ser percibidas de manera táctil por los usuarios. Por otro lado, se encuentran los artículos que utilizan más de una realimentación. El 21.05% utiliza la realimentación háptica o táctil y auditiva. El 5.26% de artículos reportan el uso de realimentación visual, auditiva y táctil. El 10.52% hacen uso de realimentación táctil o háptica y visual. Por último, el 14.04% de documentos reportan el uso de realimentación visual y auditiva.

Además, en cuanto al uso de elementos y materiales para construir los dispositivos (hardware), específicamente para elaborar el símbolo generador, se evidencia el uso constante de solenoides electromagnéticos, dispositivos utilizados para representar los símbolos del alfabeto Braille [41], dichos dispositivos pueden ser accionados por medio de un campo magnético que se crea a su alrededor y de esta manera facilita el movimiento vertical de una clavija de hierro que se encuentra en su interior [42], representado así uno de los “puntos” dentro del símbolo generador. Quiere decir que para realizar la representación completa de la celda Braille es necesario hacer el uso de 6 solenoides. Sin embargo, el uso de solenoides no es la única alternativa usada actualmente, otras tecnologías se valen del uso de servomotores que simulan los relieves de la matriz Braille [43] o de motores de vibración, los cuales se accionan por medio de una batería y cada uno de los puntos dentro de la celda Braille [44].

En la Fig. 5 se puede observar cómo lucen algunas tecnologías que han sido

identificadas en la revisión bibliográfica. Como se puede visualizar el abordaje de las soluciones puede ser muy sencillo o se pueden implementar dispositivos mucho más elaborados que cuentan con herramientas electrónicos mucho más robustas. Así mismo se evidencia la portabilidad de las herramientas, mientras que algunos son pequeños y fáciles de cargar, algunos son un poco más engorrosos, sin embargo, esto también puede estar estrechamente relacionado con el tipo de realimentación que brinda a los usuarios, o si hace uso de otros dispositivos para su correcto funcionamiento, como lo podrían ser computadores, tabletas o teléfonos inteligentes adicionales al dispositivo.

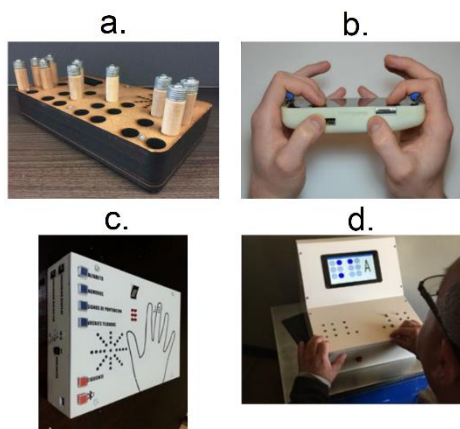


Fig. 5 Ejemplo de algunas tecnologías identificadas en la revisión. a. Tomado de [45], b. Tomado de [44], c. Tomado de [46], d. Tomado de [47].

La conectividad a internet de las soluciones y la metodología de aprendizaje que utiliza cada solución propuesta quería ser explorada, sin embargo, menos del 10% de los artículos realizan un reporte de estas características.

Por último, el 28% de los documentos reportan tecnologías con un TRL 4, quiere decir que dichas soluciones han sido validadas dentro del laboratorio. El 14.03% tiene un TLR de 5 ya que las tecnologías han sido validadas en un entorno pertinente. EL 54.39% de los documentos tiene un TLR de 6, quiere decir que los prototipos o modelos han sido validados en un entorno relevante. Para finalizar el 3.5% de las soluciones se calificó con un TLR de 7, lo cual significa que la tecnología fue validada en un entorno real [48]. Algunas características de los artículos se encuentran en la Tabla 1.

Tabla 1 Características de los estudios.

Tipo de realimentación	n (%)	Hardware	Software	TRL	Referencias
Auditiva	12.3	Celdas braille EVA, base de madera MDF (1)	NR (2) Arduino, Audacity, EasyVR Commander (1)	5,14± 0,99	[49]–[55]
		Cubos de acrílico (1) Impresora 3D, botones, modulo Bluetooth (1) Lector NFC, bloques con letras braille grabadas (1) Microcontrolador ATmega328 Arduino	Julius, gtalk, MIML (1) Android Studio, Java, XML, Firebase, TalkBack (1) OpenCV (1) Python (2)		

		UNO, micrófono, teclado Braille, batería, módulo EasyVR (1) Pantalla Braille, micrófono (1) Dispositivo móvil (1) Ordenador (3) Parlante (2)			
<b>Visual</b>	22.8	Ordenador y teclado (3) Dispositivo móvil (7) Relés, Arduino MEGA, Wemos, Switch, Micro SD, transistor, diodo, resistencias, PCB, caja, regletas, banco de baterías (1)	NR (4) Arduino (1) Java Development Kit (4) Android (5) Python (1) MCQs (1) Microsoft Windows 7 (1)	5±0.84	[40], [56]–[67]
<b>Táctil, Háptica o Vibrotáctil</b>	14.0	Arduino (5) Solenoides (3) Modulo Bluetooth (1) Ordenador (3) Bloques impresos en 3D (1) Teclado (2) Dispositivo móvil (2) Motores Vibrotáctiles (1) Microcontrolador (1)	NR (2) Arduino (5) Android (2) Java (1) CMSIS (1)	4,5±0.7	[42], [44], [68]–[73]
<b>Táctil o Háptica y Auditiva</b>	21.1	Arduino MEGA (2) Arduino UNO (2) Modulo Bluetooth (3) Solenoides (5) Altavoz (4) Microcontrolador (3) Motor CC o servomotores (3) Pantalla LCD (3) Dispositivo móvil (3) Ordenador (1)	NR (2) Arduino (5) Android (3) Java (2) Matlab (2) Proteus (1)	5,25±1,01	[41], [45], [74]–[83]
<b>Visual y Auditiva</b>	14.0	Solenoides (1) Raspberry PI (1) Arduino (2) Wemos (1) Dispositivo móvil (2) Altavoz (3) Microcontrolador (3) Pantalla LCD (1) Tarjetas y placas lectoras RFID (1) Ladrillos LEGO (1)	NR (2) Arduino (1) Python (2) HTML5, JavaScript, CSS (1) Android (1) C o C++ (2)	6±0	[84]–[91]
<b>Táctil o Háptica y Visual</b>	10.5	Dispositivos móviles (4) Arduino (3) Solenoides (2) Servomotores (1) Microcontrolador (1)	Android (2) Arduino (2) MySQL (1) API Wear de Google (1) C (1)	5,66±0,47	[43], [92]–[95]

			Teclado (1)			
			Pantalla LCD (1)			
			Modulo Bluetooth (1)			
<b>Visual, Auditiva y Táctil</b>	5.3		Raspberry Pi (1)			
			Arduino MEGA (1)	Android (2)		
			Modulo Bluetooth (1)	Arduino (1)		
			Dispositivos Móviles (1)	Raspbian y Qt creator (1)	5,66±1,24	[46], [47], [96]
			Matriz de leds (1)			
			Pantalla táctil (1)			

## 4.2. Conclusiones

Actualmente existe una amplia variedad de dispositivos y tecnologías para el apoyo de la enseñanza y el aprendizaje del sistema Braille, varían desde aplicaciones y software hasta dispositivos que hacen uso de celdas Braille elaboradas con una serie de actuadores. Así mismo, se evidencia que el uso de juegos puede ser prometedor para estimular el aprendizaje y que con el tiempo una buena metodología de aprendizaje podría ser combinar las metodologías de enseñanza tradicionales con el uso de juegos serios.

Por otro lado, la evidencia demuestra que existen diferentes tipos de realimentación tales como: realimentación táctil, visual, háptica o auditiva. Teniendo en cuenta los porcentajes, se observa que en la actualidad el uso de realimentación visuales la más común, este fenómeno se puede dar teniendo en cuenta que más de la mitad de los artículos hacen uso de interfaces y aplicaciones que son utilizados por medio de pantallas, ya sea de celular, tabletas o computadoras, a su vez el uso de audio es muy recurrente ya que se observa que complementa mucho mejor la instrucción dada a los usuarios, sin embargo, estas tecnologías tendrían que estar pensadas especialmente para el uso de personas con discapacidad visual, por lo cual, el uso de realimentación táctil o háptica debería ser fundamental ya que prácticamente se valen del tacto y la audición para aprender.

Para finalizar, la información acerca de la metodología de aprendizaje en la cual se basa cada tecnología no es reportada, así como su conectividad a internet. Estas características deberían ser informadas en futuros desarrollos, ya que no es posible realizar un mapeo de que tecnologías o no hacen uso de internet. Acceder a esta información es importante ya que es un indicador de que tan accesibles son estas tecnologías para las personas, teniendo en cuenta que no toda la población tiene acceso a internet, por ende, aquellas soluciones que hagan uso de este estarían sesgadas a un grupo de personas más específico. Del mismo modo, es difícil evidenciar qué tipo de metodología de aprendizaje podría ser utilizada en futuras investigaciones según su efectividad y que metodologías son más prometedoras teniendo en cuenta el aprendizaje de los usuarios.

Teniendo en cuenta los criterios analizados y algunos que no hacen parte del análisis, se realiza una lista de características y particularidades que deberían ser fundamentales para el desarrollo de tecnologías que apoyen el aprendizaje y la enseñanza del sistema Braille para personas con discapacidad visual:

- Proveer información acerca de conectividad.
- Realimentación auditiva, táctil y visual.
- Celda Braille elaborada con elementos de bajo costo.
- La tecnología debería ser portable y de fácil acceso.
- Tecnología fácil de usar.

## 5. METODOLOGÍA

Con el fin de cumplir a cabalidad los objetivos propuestos para el presente proyecto se desarrolla una metodología basada en cinco etapas (ver Fig. 6), dichas etapas tienen un número de tareas específicas que se debe cumplir dentro de un tiempo que ha sido estipulado. El reporte de estas actividades y su tiempo de dedicación se encuentra en el diagrama de Gantt diseñado para el proyecto (ver Anexo 1. Diagrama de Gantt). A continuación, se realizará una descripción de cada una de las etapas que componen la metodología.

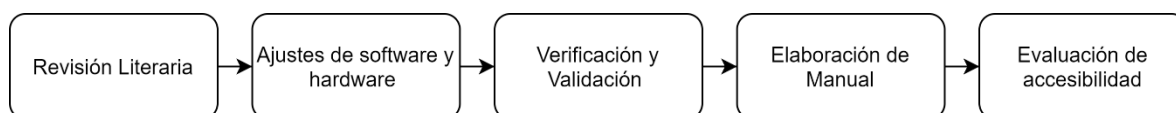


Fig. 6 Metodología propuesta por etapas.

### 5.1. Revisión literaria

En la primera etapa del proyecto se realizó la revisión literaria de aquellos dispositivos o tecnologías de asistencia que existen en la actualidad para el apoyo del aprendizaje del sistema Braille, el objetivo principal de esta revisión es caracterizar el estado del arte de los dispositivos y las tecnologías de asistencia que se han desarrollado en los últimos años. Se realizó una indagación específica acerca de que objetivos tienen las soluciones actuales, que tipos de realimentación utilizan y como está el nivel de madurez de estas tecnologías, los resultados obtenidos se pueden encontrar en el apartado REVISIÓN .

Esta etapa es muy importante ya que podemos evidenciar qué características son relevantes en las tecnologías, cuál es su impacto y qué particularidades le hacen falta al dispositivo para el apoyo del aprendizaje del sistema Braille que se ha creado.

### 5.2. Ajustes al Software y Hardware

Se realizaron ajustes a la primera versión de la página web teniendo en cuenta los diferentes comentarios que han sido recibidos por parte de profesionales de salud que tienen experiencia en el sistema Braille. Estos comentarios fueron dados con el objetivo de potenciar las características de la herramienta, ayudando así al aprendizaje tanto de la persona con discapacidad visual como de su acompañante. Los ajustes del sitio web fueron realizados por medio de: el lenguaje de marcado de hipertexto (HTML por sus siglas en inglés), hojas de estilo en cascada (CSS por sus siglas en inglés) y JavaScript.

HTML, CSS y JavaScript son lenguajes que funcionan en conjunto. Por su parte HTML es un lenguaje de marcado utilizado para la creación de páginas web, es decir define el contenido de estas [97]. CSS es el lenguaje que se usa para darle estilo a un documento HTML, especifica el diseño de las páginas web [98]. Por último, JavaScript es un lenguaje de programación, se usa para programar el comportamiento de las páginas web [99].

La metodología llevada a cabo para realizar los ajustes del sitio web se basaron en 3 fases, las cuales serán descritas a continuación:

1. **Identificación de la necesidad:** En esta fase se realizó un análisis a los comentarios que habían sido recibidos de manera verbal por profesionales de la

salud, para identificar que ítems o que información podía ser útil dentro de la página web para los usuarios. A su vez, se recolectó información que podría ser útil dentro del sitio web para contextualizar a los usuarios y sus acompañantes.

2. **Listado de requerimientos:** En esta etapa se realizó una pequeña lista en la cual se enumeran puntualmente cada una de las modificaciones que deberían ser aplicadas a la página web teniendo en cuenta los comentarios y la información recolectada en la fase 1. Sin embargo, estas modificaciones podrían aumentar o cambiar en el transcurso del desarrollo, teniendo en cuenta los criterios del desarrollador. A continuación, puede observar la lista de requerimientos:
  - Adición de posiciones en el símbolo generador.
  - Adición información de contacto de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito y la Universidad del Rosario.
  - Adición de información que contextualice brevemente a quien acceda a la página acerca de temas de interés, como lo son: del Braille y la discapacidad visual.
  - Proveer información acerca de los desarrolladores del proyecto.
  - Dedicar una sección específica al dispositivo.
  - Brindar realimentación auditiva de las posiciones del símbolo generador.
3. **Implementación:** En esta fase se realizó la implementación de nuevas secciones al sitio web y se hicieron los ajustes a las páginas que ya estaban previamente desarrolladas, este proceso se llevó a cabo por medio de HTML, CSS y JavaScript.

Una vez realizados los ajustes del sitio web se procedió a hacer las respectivas configuraciones en el software para generar el módulo off-line. Fue necesario publicar el sitio web en el servidor web Apache [100], los pasos que se debían llevar a cabo se encuentran a continuación:

1. Instalar el paquete Apache2 en la Raspberry Pi [101].

***sudo apt install apache2***

2. Guardar el contenido del sitio web en el DocumentRoot predeterminado para Apache.

***/var/www/html/SistemaBrailleUR***

Después se creó una red secundaria que se comportará como un punto de acceso inalámbrico, este proceso se realizó por medio de la Raspberry Pi Zero W [102]. A continuación, se puede observar el paso a paso del proceso:

1. Instalar el paquete de software que permite generar el punto de acceso.
2. Habilitar el servicio de punto de acceso inalámbrico y configurarlo para que se inicie cuando se enciende la Raspberry Pi.
3. Se debe configurar una red IP estática.
  - 3.1. Entrar al archivo de configuración dhcpcd con la siguiente línea de código:

```
sudo nano /etc/dhcpd.conf
```

- 3.2. Editar el final del archivo y añadir:

```
interface wlan0  
static ip_address=192.168.4.1/24  
nohook wpa_supplicant
```

4. Modificar las direcciones IP que entregará la Raspberry Pi y se debe delimitar cuanto tiempo lo hará. En este caso la Raspberry Pi entregará la dirección IP durante 24 horas a los clientes inalámbricos.
5. Crear el archivo de configuración del host y agregar a la nueva red los parámetros como: nombre de la red y clave para acceder a la misma.
6. Ejecutar el nuevo punto de acceso.

Para finalizar con el proceso y poder tener acceso al sitio web de manera off-line, fue necesario realizar la configuración de los Websockets en el propio servidor de mosquito de la Raspberry, para ello era necesario instalar el servidor MQTT, por medio de la siguiente línea de código:

```
sudo apt-get install mosquito
```

Adicionalmente se debía configurar el archivo **mosquitto.conf** y agregar:

```
port 1883  
listener 8080  
protocol websockets
```

Esta configuración creará un oyente adicional en el puerto 8080, haciendo uso del protocolo Websockets. Así mismo, se creó un acceso directo en el escritorio de la Raspberry para que el usuario pueda acceder de manera sencilla a la página web en la modalidad off-line sin tener que navegar en las diferentes carpetas que se encuentran instaladas en el dispositivo. Para ello fue necesario crear un nuevo documento en blanco con extensión .sh dentro de la carpeta "PagWeb" en donde se encuentran ubicados los archivos fuente del sitio web, en el interior del archivo creado se agregó:

```
#!/bin/bash  
chromium-browser /var/www/html/SistemaBrailleUR/PagWeb/index.html
```

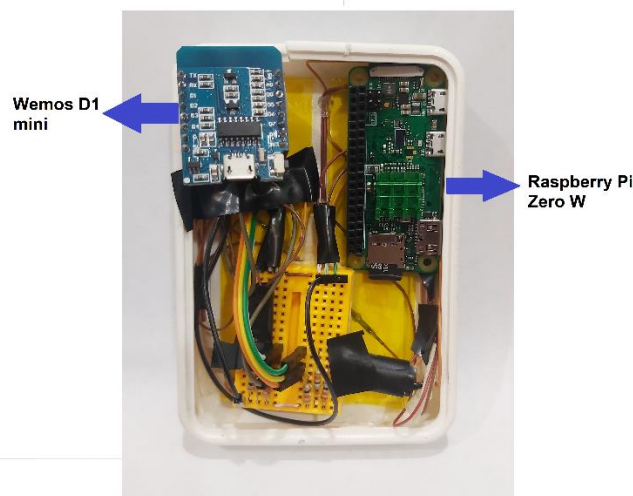
Dicho documento que se crea permite la ejecución del sitio web dentro del navegador que tiene por defecto la Raspberry. A su vez, fue necesario generar un nuevo documento que permitiera la ejecución del sitio web desde el escritorio, dicho documento fue creado dentro de la carpeta "Desktop" y se configuró añadiendo:

```
[Desktop Entry]  
Encoding= UTF-8  
Version= 1.0  
Type= Application  
Terminal= false
```

```
Exec= /var/www/html/SistemaBrailleUR/PagWeb/Web.sh  
Name= EduBraille  
Icon= /home/pi/Pictures/logo.png
```

Por otra parte, para cumplir con el objetivo de lograr la comunicación bidireccional entre el sitio web y el dispositivo sin tener acceso internet, fue necesario hacer uso de nuevos dispositivos adicionales a los que fueron utilizados en su primera versión, modificando así el hardware del dispositivo. A continuación, se puede observar una lista con los dispositivos y herramientas utilizadas en el desarrollo del proyecto y sus respectivas funciones (Ver Fig. 7):

- **Wemos D1 mini (ESP8266):** Permite la conexión del dispositivo a una red ya sea con o sin acceso a internet, así mismo brinda la conexión entre el sitio web y el dispositivo mediante el protocolo MQTT.
- **Raspberry Pi Zero W:** Generador de una red secundaria, punto de acceso inalámbrico sin hacer uso de internet.
- **Reed Switch:** Interruptores que se activan cuando identifican la presencia del imán que tienen los puntos removibles del dispositivo en su interior [103].



*Fig. 7 Dispositivo y sus respectivos componentes.*

Adicionalmente fue necesario configurar el dispositivo por medio de Arduino IDE con la finalidad de conectar el mismo a cualquier red que se encuentre en el entorno sin tener que acceder al código fuente y realizar cambios en el mismo, para ello fue necesario hacer uso de la librería WiFiManager, la cual permite configurar los parámetros de una red WiFi desde un teléfono celular, computador o tableta.

### **5.3. Verificación y validación del sistema**

Después de efectuar los ajustes del sistema tanto en hardware como en software se realizó la verificación del sistema haciendo uso del módulo off-line. El protocolo que se llevó a cabo se especifica en la Fig. 8, dicho proceso se repitió 50 veces para cada símbolo del sistema Braille (letras, números y signos de puntuación) del alfabeto español.

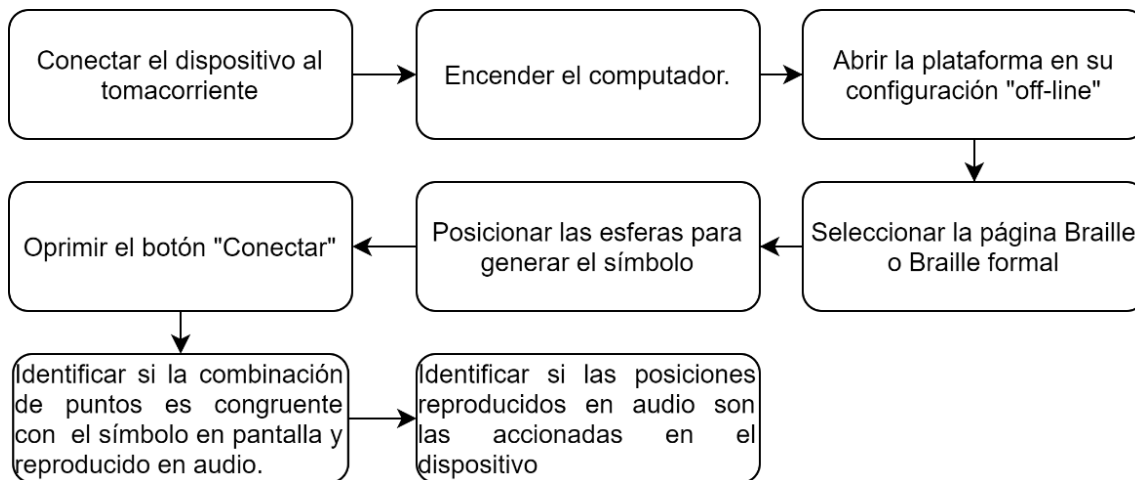


Fig. 8 Protocolo de verificación del sistema en su módulo off-line.

Para hallar los valores de la exactitud y precisión del sistema es necesario hallar algunos valores que conforman una matriz de confusión (ver Tabla 2), dichos valores son descritos a continuación [104]:

- **Verdadero positivo (VP):** El número de veces que el sitio web identifica una letra y se ha hecho la configuración de puntos de dicha letra en el dispositivo.
- **Falso positivo (FP):** El número de veces que el sitio web identifica una letra y no se ha hecho la configuración de puntos de ninguna letra en el dispositivo.
- **Verdadero negativo (VN):** El número de veces que el sitio web no identifica ninguna letra y no se ha hecho la configuración de puntos de ninguna letra en el dispositivo.
- **Falso negativo (FN):** El sitio web identifica una letra y se ha hecho la configuración de puntos de una letra diferente en el dispositivo.

Después de determinar los valores de la matriz de confusión se deben aplicar las ecuaciones 1 y 2, obteniendo así los valores de exactitud y precisión.

Tabla 2 Matriz de Confusión [104].

Resultado de la Prueba de Estudio	Predicho Positivo	Predicho Negativo
Positivo	Verdadero Positivo (VP)	Falso Positivo (FP)
Negativo	Falso Negativo (FN)	Verdadero Negativo (VN)

$$Precisión = \frac{VP}{VP + FP} \quad (1)$$

$$Exactitud = \frac{VP + VN}{VP + FP + FN + VN} \quad (2)$$

#### 5.4. Evaluación de Accesibilidad

Por último, se realizó una y revisión de la accesibilidad del sitio web, con el objetivo de evidenciar si la página web no presenta problemas y permite que personas con algún tipo de discapacidad puedan percibir, entender, navegar e interactuar con la web. Así mismo se desea observar si el sitio web cumple con las pautas y directrices de accesibilidad existentes actualmente.

Para realizar la evaluación del sitio web se hará uso de herramientas como programas de software y servicios en línea que han sido sugeridas según la W3C. Estas herramientas proporcionarán información de si la página de internet cumple con los estándares de accesibilidad. A continuación, se encuentra la lista de los enlaces de las páginas que han sido utilizadas para la evaluación:

- <https://achecker.ca/checker/index.php>
- <https://www.webaccessibility.com/>

Adicional a la evaluación general de la página web, también se realizó un análisis de contraste de color que reveló los problemas con los pares de color elegidos para el sitio web, la revisión se realizó según las pautas WCAG 2.1. A continuación se encuentra el link del evaluador:

- <https://color.a11y.com/Contrast/>

El objetivo al final es obtener un sitio web que se encuentre clasificado con un porcentaje mayor o igual al 90% o que se encuentre clasificado en el nivel de conformidad igual o mayor a AA.

## 6. RESULTADOS

El desarrollo de esta sección describe los diferentes resultados que se obtuvieron al ejecutar la metodología propuesta. La descripción de los resultados se realizó dividida en diferentes partes.

### 6.1. Sitio Web

El nombre del sitio web ha sido modificado a [EduBraille](#). Se ha elaborado un mapa de la página web (ver Anexo 2 Mapa del sitio web) en donde se encuentra de manera detallada su estructura. Así mismo se observan cada una de las secciones y subsecciones que conforman el sitio.

La página de inicio busca proveer información al usuario relacionada con las razones por las cuales nace el proyecto y que objetivos tiene, a su vez, da una breve descripción del método de aprendizaje y enseñanza que es utilizado y ha sido planteado para cumplir con el objetivo propuesto. En la Fig. 9 se puede observar la página de inicio que se podrá visualizar cuando se ingrese a la página web.

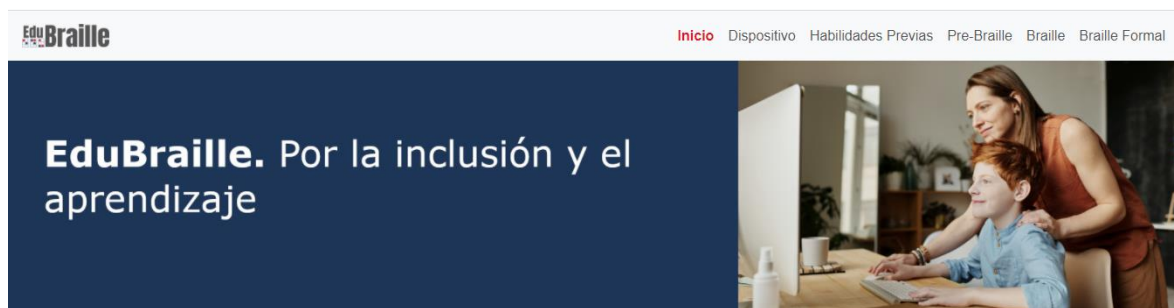


Fig. 9 Cabecera página de inicio.

En la Fig. 10 se puede observar el pie de página que se encontrará a través de las diferentes secciones que permiten la movilización dentro de la página web. En él se podrá encontrar información de contacto de la Universidad del Rosario y la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, a su vez, se encontrará una serie de hipervínculos que permitirán obtener más información acerca del proyecto.

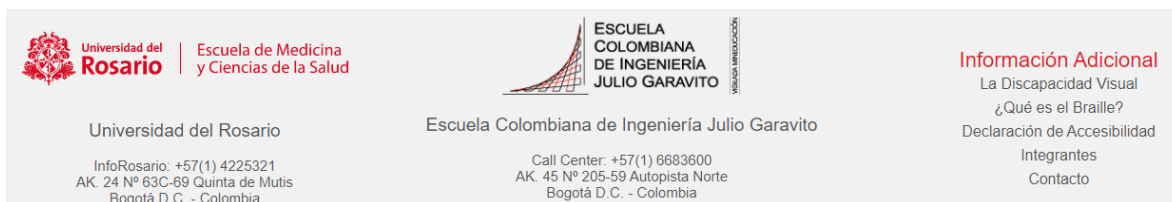


Fig. 10 Footer de la página web.

La sección **dispositivo** hace una pequeña descripción de las funciones y los componentes que fueron utilizados para el desarrollo del dispositivo. Por último, se encuentra un video tutorial en el cual se ilustra cómo se debe hacer la conexión de la herramienta al sitio web y como puede ser utilizado, así mismo se describe el paso a paso del uso eficiente de las secciones Braille y Braille Formal.

Las secciones **la discapacidad visual**, **¿qué es el Braille?** e **integrantes** tienen la función de contextualizar a los usuarios del sitio web acerca de algunos temas de interés. Por su parte, la sección **discapacidad visual** hace una breve descripción de qué es el sentido de la vista, qué es y quiénes son las personas que tienen discapacidad visual, para finalizar presenta una serie de porcentajes y estadísticas de la discapacidad visual en Colombia y el mundo.

La sección **¿qué es el Braille?** brinda a los usuarios una descripción de para qué sirve, cuándo y quién creó el Braille, a su vez, describe rápidamente que es el símbolo generador y cuál es su función. Por último, el apartado **integrantes** hace una pequeña descripción de todos los desarrolladores del proyecto y sus respectivos aportes. En caso de que los usuarios lleguen a tener alguna duda o deseen comunicarse con los desarrolladores del proyecto, podrán encontrar la pestaña **contacto** en donde por medio de un formulario pueden dejar sus datos y comentarios para que puedan ser contactados.

La sección **habilidades previas** hace referencia a la fase uno del método de enseñanza, esta sección hace una descripción de su función y objetivo. Este apartado se encuentra dividido en tres subdivisiones: actividades cotidianas, canciones y libros. Estas tres partes están dedicadas a desarrollar las habilidades auditivas de los usuarios, algunas de estas habilidades son: la discriminación y asociación de sonidos con objetos y la capacidad de entender y retener instrucciones que son dadas de manera verbal. La subsección **actividades cotidianas** plantea una serie de acciones que realiza una persona a diario, mientras que las subsecciones **canciones** y **libros** llevan al usuario a la plataforma YouTube o sitios web de libros y audiolibros respectivamente.

La fase dos del método de enseñanza puede encontrarse en el sitio web como la sección **pre-braille**, esta fase tiene como objetivo familiarizar al usuario con el sistema Braille por medio del tacto, por lo cual se proponen una serie de actividades y materiales que podrían ayudar a cumplir el objetivo. Esta sección se encuentra dividida en dos partes, en primer lugar, se tiene la subsección **materiales**, en la cual se encuentra una galería de imágenes de algunos materiales que se proponen para que el usuario pueda familiarizarse e identificar diferentes texturas, promoviendo así el desarrollo del sentido del tacto. Seguido, se encuentra la subdivisión **juegos** la cual redirige al usuario a una serie de videos que están disponibles en la plataforma YouTube, dichos videos enseñan al usuario como se pueden construir juegos de mesa que han sido diseñados especialmente para personas con discapacidad visual con ayuda de algunos materiales básicos y de uso común.

La sección **Braille** representa la fase tres de enseñanza, esta corresponde al aprendizaje de letras por parte del usuario. En esta división se encontrarán dos funciones diferentes, por un lado, se tiene la función lectura, en ella se podrá encontrar la simulación de un símbolo generador con sus respectivas posiciones, un recuadro para ingresar las letras y un botón para accionar la función. Esta subsección es la encargada de presentar al estudiante y a su acompañante las diferentes vocales y consonantes en el alfabeto Braille. El usuario deberá ingresar la letra que desee del alfabeto español en el recuadro *Ingrese la letra*, a continuación, deberá presionar el botón "*Lectura*" y así obtendrá la representación en Braille en el signo generador de la letra que ha sido ingresada, así mismo brindará al estudiante una realimentación auditiva de la combinación de puntos que forman la letra en el símbolo generador. A su vez, se tiene la división escritura, en esta se podrá encontrar un signo generador, el cual está encargado de realizar la verificación de la combinación de puntos que ha sido ingresada en el dispositivo después de pulsar el botón "*Escritura*", la verificación de puntos devolverá al usuario una realimentación visual y auditiva de las posiciones accionadas en el dispositivo.

La última fase del método de enseñanza recibe el nombre de **Braille formal**, esta sección tiene las mismas funcionalidades de la fase tres de enseñanza, es decir tiene las funciones de lectura y escritura, sin embargo, en este caso es el aprendizaje y enseñanza de números y signos de puntuación, por lo tanto, el usuario solo deberá ingresar este tipo de símbolos y deberá realizar las combinaciones de puntos en el dispositivo que correspondan a estos.

Las secciones **Braille** y **Braille formal** tienen una serie de botones, como lo son: *Ver vocales*, *Ver consonantes*, *Ver Números* y *Ver signos*. Estos botones permiten la visualización de las letras, números y signos de puntuación del abecedario en español para que sean introducidas en la sección de lectura. Esto se hace con el fin de guiar a los usuarios acerca de que van a aprender dentro de estas secciones y que símbolos admiten las mismas.

La detección de la posición de los puntos en la matriz del dispositivo se realiza por medio de los reed-switch que tiene en su interior, estos interruptores se activan por la presencia de un campo magnético, es decir se activan cuando identifican la presencia del imán que tienen los puntos removibles del dispositivo en su interior y se inactivan si no detectan el imán. Los reed-switch generan un cero (0) o un uno (1) digital, cuando se activan e inactivan respectivamente.

Las diferentes combinaciones de puntos para crear las letras, los números y los signos de puntuación del idioma español se han representado por medio del sistema binario en JavaScript, a su vez se realizaron una serie de funciones que permiten identificar que letra ha sido ingresada en el dispositivo teniendo en cuenta las diferentes combinaciones binarias. El documento generado en JavaScript se ha añadido a los documentos que permiten el correcto funcionamiento del sitio web.

## 6.2. Modulo off-line

Teniendo en cuenta la metodología propuesta para el desarrollo off-line, se obtuvo una red local inalámbrica (WLAN) llamada "EduBraille\_SI". Dicha red permite que la página web pueda abrirse en un ordenador, celular o tableta sin tener que hacer uso de internet. Adicionalmente, el dispositivo puede conectarse a esta red de manera eficiente y funciona correctamente. Sin embargo, esta no es la única alternativa existente cuando de uso off-line se refiere, los usuarios podrán tener acceso al sitio web y podrán hacer uso del dispositivo por medio de una pantalla con conexión HDMI, un teclado y un ratón de computadora.

Para que la conexión del dispositivo a una red sea posible, se implementó la librería WiFiManager en Arduino como se mencionó en la metodología. Se obtuvo una página web en donde se debe configurar la red a la que el usuario desea conectar el dispositivo, así como sus respectivas credenciales (ver Fig. 11). En el manual de usuario se especifica paso a paso como debe realizarse la conexión del dispositivo y la apertura del sitio web EduBraille en cualquiera de sus modalidades (ver Anexo 4. Manual de Usuario).

Fig. 11 Página web para configuración de red.

### 6.3. Pruebas de verificación y validación

Las pruebas de verificación y validación del sistema se hicieron teniendo en cuenta el procedimiento del protocolo propuesto que se encuentra en la Fig. 8. A su vez, se siguió paso a paso el proceso propuesto para el desarrollo de la etapa 3 en la sección metodológica.

En el Anexo 3. Valores de verificación alfabeto español, se pueden observar los resultados obtenidos al realizar el proceso de verificación de todos los caracteres del alfabeto español 50 veces, estos resultados se evidencian de manera resumida en la Tabla 3 teniendo en cuenta los parámetros que componen la matriz de confusión de la Tabla 2. Estos valores son fundamentales para determinar el valor de exactitud y precisión de la herramienta. A continuación, se pueden contemplar los valores obtenidos de manera individual:

- **Verdadero positivo (VP):** 2398
- **Falso positivo (FP):** 0
- **Verdadero negativo (VN):** 0
- **Falso negativo (FN):** 2

Tabla 3 Resultados matriz de confusión verificación símbolos.

Resultado de la Prueba de Estudio	Predicho Positivo	Predicho Negativo
Positivo	2398	0
Negativo	2	0

Con los valores obtenidos en la matriz de confusión se procedió a realizar las ecuaciones 1 y 2, obteniendo así los valores de exactitud y precisión, los cuales se pueden contemplar en la Tabla 4. Se observa que el valor de exactitud y precisión del sistema fue del 100%

*Tabla 4 Exactitud y precisión del sistema.*

<b>Métricas de Rendimiento</b>	<b>Valor (%)</b>
<b>Exactitud</b>	100
<b>Precisión</b>	100

#### **6.4. Evaluación de Accesibilidad**

Se realizó una prueba de accesibilidad al sitio web, para ello fue necesario hacer uso de las URL que fueron propuestas en la sección de metodología. La primera herramienta en la cual se evaluó el sitio web evalúa en qué medida el sitio web cumple con los estándares WCAG 2.1, entregando porcentajes de 0 a 100, siendo 0 que la página web no cumple con ninguna de las pautas de accesibilidad y 100 que cumple con todas las pautas de accesibilidad web. En la Tabla 5 se encuentra el reporte en donde se evidencian los puntajes obtenidos para cada una de las páginas que componen el sitio web.

*Tabla 5 Porcentajes evaluación accesibilidad a partir de [105].*

<b>Página Web</b>	<b>Puntaje (%)</b>
Inicio	92
Dispositivo	87
Habilidades Previas	91
Pre-Braille	87
Braille	87
Braille Formal	87
La Discapacidad Visual	92
¿Qué es el Braille?	92
Integrantes	91
Contacto	92

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se observa que todas las páginas que componen el sitio web son calificadas con un porcentaje mayor al 85%, específicamente 6 de las 10 páginas que componen el sitio tienen una calificación superior al 90%, sin embargo, el objetivo de hacer la evaluación de usabilidad es obtener un puntaje superior a 90%, por lo tanto, las 4 páginas que tuvieron un valor inferior fueron modificadas con los comentarios recibidos por parte del software.

Por otro lado, con ayuda de la herramienta informática Achecker se realizó una evaluación de accesibilidad conforme a los estándares WCAG 2.0, la cual brinda información de la clasificación del nivel de conformidad en el cual se encontraban las páginas que componen el sitio web (ver Tabla 6Tabla 5).

Una vez realizados las correcciones al sitio web teniendo en cuenta las sugerencias que fueron suministradas por las herramientas informáticas se volvieron a evaluar las páginas web que componen a EduBraille, obteniendo así las clasificaciones y porcentajes que se pueden observar en la Tabla 7.

De la misma manera como se evaluó la accesibilidad en términos de código y contenido, se procedió a realizar una evaluación del contraste del color del sitio web según las pautas WCAG 2.1. Este análisis se realiza porque el contraste entre el texto y el fondo es fundamental para las personas daltónicas o personas que tienen alguna discapacidad visual

que no es total. Una vez ingresado el URL del sitio web EduBraille se evidenció que las combinaciones de colores utilizadas cumplen con las regulaciones de accesibilidad del sitio web y están clasificados en un nivel AA y AAA, quiere decir que los colores no deben ser modificados ya que están clasificados de acuerdo con el objetivo propuesto.

*Tabla 6 Clasificación de nivel accesibilidad.*

<b>Página Web</b>	<b>Nivel de clasificación</b>
Inicio	AA
Dispositivo	A
Habilidades Previas	AA
Pre-Braille	A
Braille	A
Braille Formal	A
La Discapacidad Visual	AA
¿Qué es el Braille?	AA
Integrantes	AA
Contacto	AA

*Tabla 7 Clasificación y porcentaje de accesibilidad.*

<b>Página Web</b>	<b>Puntaje (%)</b>	<b>Nivel de clasificación</b>
Inicio	92	AA
Dispositivo	92	AA
Habilidades Previas	92	AA
Pre-Braille	92	AA
Braille	92	AA
Braille Formal	92	AA
La Discapacidad Visual	92	AA
¿Qué es el Braille?	92	AA
Integrantes	92	AA
Contacto	92	AA

## 7. DISCUSIÓN

Este proyecto tuvo como propósito crear una red WLAN que no necesitara conexión a internet y que permitiera el correcto funcionamiento del dispositivo y la página web que componen a EduBraille. Después de realizar una inspección en la literatura y hacer una revisión de las estadísticas del país se evidencia una problemática importante, teniendo en cuenta que la mayoría de las personas que se encuentran en condición de discapacidad hacen parte de los estratos socioeconómicos uno y dos lo que en consecuencia significaría que más de la mitad de las personas con discapacidad del país no tienen acceso a internet.

Así mismo se observa la importancia de la alfabetización para las personas con discapacidad visual teniendo en cuenta que debido a su estrato socioeconómico no tienen la posibilidad de ingresar al sistema educativo convencional y adicionalmente las alternativas de alfabetización que hay en la actualidad del sistema Braille implican una movilización de largas distancias, tienen altos costos o simplemente necesitan hacer uso de internet.

Teniendo en cuenta este propósito y con el objetivo de brindar una herramienta de fácil acceso y que brinde las herramientas fundamentales para una buena alfabetización, se realizaron algunas variaciones. En primer lugar, se añadieron las posiciones del símbolo generador y la realimentación auditiva de las mismas cuando el estudiante haga uso del dispositivo, esto con el objetivo de lograr una mayor retención de la información ya que con esto será posible conectar sonidos a las combinaciones de puntos del sistema Braille. Dicha modificación potencia la estimulación que se realiza en la fase 3 del método de enseñanza, en donde se promueve la retención de información y la comprensión de instrucciones de manera auditiva y que en consecuencia contribuirá a que el usuario integre sus experiencias [10].

La plataforma web en su versión más actual, brinda recursos informativos que hacen parte del método de aprendizaje y enseñanza, contextualiza a los usuarios y sus familiares acerca del Braille y la discapacidad visual. Por otro lado, uno de los beneficios más significativos de EduBraille es que ofrece la posibilidad de enseñar sin ser un profesional conocedor del sistema Braille con anterioridad, el objetivo de la herramienta es que cualquier persona que tenga o no conocimiento del alfabeto Braille pueda ser el educador del usuario que tiene la discapacidad visual. Lo cual incentivará el deseo por aprender el sistema de lectoescritura Braille por parte de la persona con discapacidad visual, ya que en su familia también estarán en proceso de aprendizaje o tendrán un conocimiento previo del sistema lo que se verá reflejado en el futuro ya que con el tiempo dentro del núcleo familiar se realizarán actividades intelectuales, sociales y lúdicas por medio del sistema Braille [10].

El sitio web brinda información detallada del funcionamiento del dispositivo y provee información de los desarrolladores de la herramienta. Dentro de sus funciones se encuentra servir como plataforma de conexión con el dispositivo, para brindar la experiencia de aprendizaje completa al usuario proporcionando realimentación visual y auditiva de aquellas combinaciones de puntos que representan el alfabeto Braille.

La implementación del módulo off-line en el proyecto da como resultado una herramienta que es versátil y que puede utilizarse en múltiples entornos ya que puede funcionar en modalidad off-line u on-line, evitando así el sesgo que hay de la cantidad de tecnologías que podrían necesitar el acceso a internet o el desplazamiento a lugares alejados. Por otro lado, esta herramienta provee información acerca de si funciona o no con internet, mientras que como se pudo observar en la revisión realizada la mayoría de las tecnologías no proveen información acerca de la conectividad a los usuarios. También es importante

mencionar la cantidad de alternativas que ofrece la herramienta, ya que puede usarse con conexión a internet, sin conexión a internet o sin conexión a internet sin tener que hacer uso de computadores o teléfonos móviles, en esta última funcionalidad basta con que el usuario tenga una pantalla con conexión a HDMI y podrá hacer uso de la herramienta. El manual de usuario generado proporciona toda la información necesaria para usar la herramienta de manera eficiente de la herramienta y llevar a cabo el proceso de aprendizaje completo.

Otro de los beneficios con los que cuenta EduBraille es su bajo costo, el incremento del valor de la herramienta con respecto a su primera versión fue de 200.000 COP, quiere decir que como resultado el dispositivo actualmente tiene un costo de 280.000 COP. Valor que sigue siendo económico en contraste con muchas otras alternativas que duplican su costo [106]. Adicionalmente esta herramienta brinda a los usuarios y sus acompañantes tres tipos de realimentación: auditiva, táctil y visual, fundamentales en el aprendizaje del alfabeto Braille.

Los resultados estadísticos obtenidos revelan que la página web y el dispositivo en conjunto tienen una exactitud y una precisión del 100%, lo cual significa que todos los datos obtenidos son los ideales y que las lecturas de las combinaciones de puntos que proporciona el sitio web son exactamente las mismas que las que han sido configuradas en el dispositivo. La obtención de estas medidas estadísticas estuvo estrechamente relacionada con el buen uso del dispositivo. Es clave utilizar tanto de las fichas planas como de las fichas que tienen un punto en relieve, ya que la ubicación de los reed-switch no es variable, estos sensores se encuentran localizados en un punto fijo dentro del dispositivo y las fichas están construidas con las medidas exactas para que si se hace uso de ellas los imanes queden dentro del rango de lectura de los sensores.

Por otro lado, el sitio web desarrollado se encuentra clasificado en un nivel de conformidad AA según las pautas WCAG más recientes, lo cual significa que el sitio web de EduBraille se encuentra en términos de marcado y contenido muy bien elaborado. Cuando se habla de marcado se refiere al código que le da estructura y valor semántico al sitio, mientras que el contenido es todo aquello con lo que un usuario interactúa o puede percibir del sitio [107]. Este hecho hace a EduBraille accesible para una gama más amplia de personas, partiendo desde aquellas personas que no tienen ninguna limitación, hasta aquellas que tienen algún tipo de discapacidad. Lo cual es fundamental en la actualidad teniendo en cuenta que un quinto de población del mundo tiene por lo menos una discapacidad y lucha por tener acceso a los mismos servicios y productos que tienen las personas que no tienen ninguna limitación [108]. Quiere decir que un sitio web accesible elimina la brecha existente entre la información y contenido web a la que pueden acceder las personas que no tienen una discapacidad y aquellas que sí.

Para finalizar se evidencia que modificaciones realizadas al sitio web y al dispositivo convierten a la herramienta desarrollada aún más usable por su versatilidad, en términos generales este desarrollo podría ser útil en diferentes aplicaciones y se podrían hacer diferentes expansiones para la enseñanza de diferentes áreas. Una alternativa potencial sería el uso de la herramienta para la educación primaria de niños que tienen discapacidad visual, especialmente teniendo en cuenta la funcionalidad off-line la cual podría ser usada en zonas rurales de Colombia en donde el acceso a la educación es limitado debido a la falta de acceso a internet, el cual es fundamental actualmente ya que la educación se imparte principalmente de manera remota.

## 8. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Teniendo en cuenta el desarrollo realizado hasta la actualidad, surgen algunos trabajos que pueden ser realizados en el futuro con el objetivo de potenciar y explotar los beneficios que ofrece la herramienta. En primer lugar, se propone implementar una sección dentro del sitio web en donde el usuario pueda crear palabras o frases básicas con el dispositivo, esto con el objetivo de evaluar los saberes aprendidos e identificar en que partes de la alfabetización el usuario tiene debilidades.

Por otro lado, se plantea la alternativa de desarrollar una aplicación web progresiva (PWA, por sus siglas en inglés), lo cual brindaría a la herramienta mayor versatilidad, debido a que se podría acceder a la aplicación a través de la web, dispositivos Android o iOS. Así mismo, la aplicación funcionaría sin conexión a internet y aparecería en la pantalla de inicio del teléfono inteligente del usuario [109].

A su vez, se propone realizar un estudio de usabilidad de la herramienta, idealmente se propone que la primera versión del estudio se realice con profesionales o personas conocedoras del sistema Braille y su enseñanza, este estudio se realizaría con el objetivo de determinar la facilidad de uso de la herramienta y la calidad de la herramienta en el cumplimiento de su objetivo desde el punto de vista de educadores del sistema Braille.

En función de la primera versión del estudio de usabilidad sería interesante realizar las modificaciones pertinentes considerando los resultados y los comentarios obtenidos en el estudio y a continuación realizar pruebas de usabilidad con usuarios y sus cuidadores en un entorno real. Lo que al final garantizaría un producto final con muy buenas opciones de asimilación tecnológica ya que se realizaría por medio de una metodología de diseño centrado en el usuario.

Otra modificación que se propone es adicionar un módulo MP3 al dispositivo, el cual podría permitir la realimentación auditiva de los puntos configurados en la herramienta en cualquier momento, incluso cuando no se haga uso del sitio web. Dicha configuración aumentaría la posibilidad de uso del dispositivo, ya que el mismo podría utilizarse de manera independiente sin hacer uso de ninguna tecnología adicional.

Adicionalmente se propone implementar un kit que contenga dispositivos de diferentes tamaños, partiendo desde el tamaño original que es el cual tiene en la actualidad hasta el tamaño real del sistema Braille, de esta manera el usuario puede comenzar su aprendizaje del alfabeto Braille desde un dispositivo de grandes dimensiones y con el paso del tiempo podrá ir aumentando su motricidad fina y se podrá familiarizar de forma progresiva al modelo más cercano a la realidad.

## 9. CONCLUSIONES

Fue posible realizar una red WLAN que permite la conexión de dispositivos que cuenten con la funcionalidad de WiFi. Gracias a la red creada se implementaron dos nuevas modalidades de uso de la herramienta que no necesitan hacer uso de internet.

Se realizó la validación y verificación del dispositivo y el sitio web en la modalidad off-line, obteniendo un sistema con el 100% de exactitud y precisión. Así mismo se evaluó el sitio web obteniendo una clasificación de conformidad AA según las WGAC.

De modo complementario, se elaboró un manual de usuario en el cual se indica el paso a paso de cómo se debe conectar el dispositivo y como se puede hacer uso del sitio web en cada una de sus tres modalidades: conexión on-line, conexión off-line y conexión off-line sin hacer uso de ordenador.

El sitio web elaborado es accesible a prácticamente para cualquier público, es posible que aquellas personas que tienen ceguera completa puedan acceder a la información de la página web por medio de un lector de pantalla o que aquellas personas que tienen baja visión puedan distinguir e identificar ciertas partes del contenido de la página web debido al contraste de colores que componen el sitio.

El dispositivo tiene la posibilidad de conectarse a cualquier red cada vez que vaya a ser usado. Lo cual amplía las posibilidades de uso de la herramienta, llevándola a diferentes ámbitos como lo puede ser la educación primaria, sin embargo, esta expansión solo podría ser posible después de hacer pruebas de la herramienta con usuarios reales.

Por último, se concluye que la herramienta cumple con el objetivo principal el cual fue crear una nueva modalidad que permitiera la comunicación bidireccional entre la página web y el dispositivo sin tener que hacer uso de internet. Adicionalmente la herramienta tiene un sistema que brinda a los usuarios la realimentación auditiva de las posiciones de la matriz según los símbolos configurados en el dispositivo para el apoyo de la enseñanza del sistema Braille.

## REFERENCIAS

- [1] World Health Organization, “Discapacidades,” *WHO*, 2020. [https://www.who.int/health-topics/disability#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/disability#tab=tab_1).
- [2] A. Jaganjac *et al.*, “Daily activities of employed persons with visual impairment,” *J. Heal. Sci.*, vol. 10, no. 2, pp. 157–169, 2020, doi: 10.17532/jhsci.2020.893.
- [3] Grupo social ONCE, “La discapacidad visual,” *ONCE*. <https://www.once.es/dejanos-ayudarte/la-discapacidad-visual>.
- [4] World Health Organization, “World report on vision,” Switzerland, 2019.
- [5] Instituto Nacional Para Ciegos, “Los ciegos en el Censo 2018,” *INCI*, 2020. <https://www.inci.gov.co/blog/los-ciegos-en-el-censo-2018>.
- [6] Ministerio de salud y protección social, “Sala situacional de Personas con Discapacidad,” *Minsalud*. pp. 1–56, 2019, [Online]. Available: <https://discapacidadcolombia.com/index.php/estadisticas/185-estadisticas-2015>.
- [7] Ministerio de Educación Nacional, “Uso responsable y creativo de internet se promoverá entre más de un millón de niñas, niños y adolescentes,” *Mineducación*, 2020. [https://www.mineducacion.gov.co/1759/w3-article-400541.html?\\_noredirect=1](https://www.mineducacion.gov.co/1759/w3-article-400541.html?_noredirect=1).
- [8] Ministerio de Educación Nacional, “Tasa de analfabetismo en Colombia a la baja,” *Mineducación*, 2018. [https://www.mineducacion.gov.co/1759/w3-article-376377.html?\\_noredirect=1](https://www.mineducacion.gov.co/1759/w3-article-376377.html?_noredirect=1).
- [9] Departamento Administrativo Nacional De Estadística, “Censo de Población de discapacitados en Colombia.” 2019.
- [10] Comision Braille Española, “La didáctica del braille mas allá del código. Nuevas perspectivas en la alfabetizacion del alumnado con discapacidad visual.,” no. Versión 1. pp. 1–381, 2015, [Online]. Available: <https://www.once.es/servicios-sociales/braille/documentos-tecnicos/documentos-tecnicos-relacionados-con-el-braille/documentos-tecnicos-relacionados-con-el-braille>.
- [11] J. E. Gómez Ramirez, “Estudio revela cuales son las ciudades de Colombia más interesadas en contratar personas con discapacidad visual,” *Instituto Nacional para Ciegos*, 2015. <https://inci.gov.co/blog/estudio-revela-cuales-son-las-ciudades-de-colombia-mas-interesadas-en-contratar-personas-con> (accessed Jan. 19, 2021).
- [12] J. Jiménez, J. Olea, J. Torres, I. Alonso, D. Harder, and K. Fischer, “Biography of Louis Braille and Invention of the Braille Alphabet,” *Surv. Ophthalmol.*, vol. 54, no. 1, pp. 142–149, 2009, doi: 10.1016/j.survophthal.2008.10.006.
- [13] I. Martínez and D. Polo, “Guía Didáctica Para La Lectoescritura Braille.” Madrid, 2004, [Online]. Available: [http://bibliorepo.umce.cl/libros\\_electronicos/diferencial/edtv\\_30.pdf](http://bibliorepo.umce.cl/libros_electronicos/diferencial/edtv_30.pdf).
- [14] A. Baciero, M. Perea, and P. Gomez, “Touching Your Words: Why Braille Reading Is Special,” *Ciencia Cognitiva*, 2019. <http://www.cienciacognitiva.org/?p=1861#:~:text=Imagine a world in which,braille writing system in 1824>.
- [15] Universidad Internacional de Valencia, “Beneficios y Desventajas del Sistema Braille,” 2015. <https://www.universidadviu.com/es/actualidad/nuestros-expertos/beneficios-y-desventajas-del-sistema-braille>.
- [16] Instituto Nacional Para Ciegos, “Acerca del INCI.” <https://www.inci.gov.co/elinstituto>.
- [17] Instituto Nacional Para Ciegos, “Taller de Braille,” 2020. <https://www.inci.gov.co/blog/taller-de-braille>.

- [18] M. de T. de la I. y Comunicaciones, “La mitad de Colombia no tiene internet,” *MinTIC*, 2019. .
- [19] C. Parra Dussan, “El INCI Promueve el Braille,” *INCI*. <https://www.inci.gov.co/blog/el-inci-promueve-el-braille>.
- [20] FamilyConnect, “Instrumentos para Escribir,” *FamilyConnect*. <https://familyconnect.org/tecnologia-de-asistencia/instrumentos-para-escribir/> (accessed Jan. 19, 2021).
- [21] S. Kumar, “Braille: herramienta para enseñar a niños ciegos,” *SciDevNet*, 2007. <https://www.scidev.net/america-latina/features/braille-herramienta-para-ensear-a-ninos-ciegos/#:~:text=las escuelas tradicionales.-,Muy pocos maestros están entrenados para enseñar Braille%2C un lenguaje,la yema de los dedos.> (accessed Jan. 19, 2021).
- [22] M. Hernandez, “Validación de un Dispositivo para Apoyar el Aprendizaje y la Enseñanza del Sistema Braille,” Universidad del Rosario- Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2020.
- [23] P. Lopez, D. Fernandez, A. J. Jara, and A. F. Skarmeta, “Survey of internet of things technologies for clinical environments,” *Proc. - 27th Int. Conf. Adv. Inf. Netw. Appl. Work. WAINA 2013*, 2013, doi: 10.1109/WAINA.2013.255.
- [24] A. P. Athreya and P. Tague, “Network Self-Organization in the Internet of Things,” 2013.
- [25] N. M. M. Abdelnapi, N. F. Omran, A. A. Ali, and F. A. Omara, “A survey of internet of things technologies and projects for healthcare services,” *Proc. 2018 Int. Conf. Innov. Trends Comput. Eng. ITCE 2018*, 2018, doi: 10.1109/ITCE.2018.8316599.
- [26] L. Atzori, A. Iera, G. Morabito, and M. Nitti, “The social internet of things (SIoT) - When social networks meet the internet of things: Concept, architecture and network characterization,” *Comput. Networks*, vol. 56, no. 16, pp. 3594–3608, 2012, doi: 10.1016/j.comnet.2012.07.010.
- [27] J. Lin, W. Yu, N. Zhang, X. Yang, H. Zhang, and W. Zhao, “A Survey on Internet of Things: Architecture, Enabling Technologies, Security and Privacy, and Applications,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 4, no. 5, pp. 1125–1142, 2016, doi: 10.1109/JIOT.2017.2683200.
- [28] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, and M. Ayyash, “Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications,” *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 17, no. 4, pp. 2347–2376, 2015, doi: 10.1109/COMST.2015.2444095.
- [29] OASIS, “MQTT Version 5.0 OASIS Standard,” 2019, [Online]. Available: <https://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v5.0/os/mqtt-v5.0-os.html>.
- [30] Internet Engineering Task Force (IETF), “The WebSocket Protocol.” pp. 1–71, 2011.
- [31] A. Calderon and L. Morales, “Diseño de la red LAN de la empresa Altadis Farmaceutica en la ciudad de Bogotá.” pp. 1–26, 2018.
- [32] TechTerms, “Network,” 2018. <https://techterms.com/definition/network>.
- [33] TechTerms, “LAN,” 2016. <https://techterms.com/definition/lan> (accessed Apr. 19, 2021).
- [34] TechTerms, “WLAN,” 2020. <https://techterms.com/definition/wlan> (accessed Apr. 19, 2021).
- [35] E. and O. W. G. (EOWG), “Introduction to Web Accessibility,” 2019. <https://www.w3.org/WAI/fundamentals/accessibility-intro/>.
- [36] E. and O. W. G. (EOWG), “About W3C WAI,” 2020. <https://www.w3.org/WAI/about/>.
- [37] Accessibility Guidelines Working Group, “Web Content Accessibility Guidelines

- (WCAG) Overview,” 2005. <https://www.w3.org/WAI/standards-guidelines/wcag/>.
- [38] W3C, “Introduction to Understanding WCAG 2.1,” W3C. <https://www.w3.org/WAI/WCAG21/Understanding/intro#understanding-the-four-principles-of-accessibility> (accessed Apr. 25, 2021).
- [39] G. Urrutia and X. Bonfill, “Declaración PRISMA: una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis,” *Medicina Clínica*, vol. 135, no. 11, pp. 507–511, 2011, [Online]. Available: [http://es.cochrane.org/sites/es.cochrane.org/files/public/uploads/PRISMA\\_Spanish.pdf](http://es.cochrane.org/sites/es.cochrane.org/files/public/uploads/PRISMA_Spanish.pdf).
- [40] P. D. Hatzigiannakoglou and M. T. Kampouraki, “‘Learn Braille’: A serious game mobile app for sighted Braille learners,” *J. Eng. Sci. Technol. Rev.*, vol. 9, no. 1, pp. 174–176, 2016, doi: 10.25103/jestr.091.26.
- [41] M. E. Adnan, M. M. Nur E Alam, J. F. Sirajum Monira, and M. Rezaul Islam, “A Cost-Effective Voice Controlled Electronic Braille for Independent Learning of Visually Impaired People,” *2020 IEEE Reg. 10 Symp. TENSYP 2020*, 2020, doi: 10.1109/TENSYP50017.2020.9230841.
- [42] M. E. Adnan, N. M. Muhammad Dastagir, J. Jabin, A. Masud Chowdhury, and M. Rezaul Islam, “A cost effective electronic braille for visually impaired individuals,” *5th IEEE Reg. 10 Humanit. Technol. Conf. 2017, R10-HTC 2017*, pp. 175–178, 2017, doi: 10.1109/R10-HTC.2017.8288932.
- [43] G. R. Peñaloza-Mendoza, A. A. Sánchez-Rodríguez, P. Y. Melgoza-Rivera, and S. Espinosa-Hurtado, “Design of an electronic prototype to teach braille,” *Health Technol. (Berl.)*, pp. 411–416, 2019, doi: 10.1007/s12553-019-00373-w.
- [44] H. Nicolau, K. Montague, T. Guerreiro, A. Rodrigues, and V. L. Hanson, “HoliBraille: Multipoint Vibrotactile Feedback on Mobile Devices,” 2015, pp. 1–4, doi: 10.1145/2745555.2746643.
- [45] R. M. Lopez, S. D. Pinder, and T. C. Davies, “Matuto, Magbasa, Maglaro: Learning to read braille through play,” *Assist. Technol.*, pp. 1–9, 2019, doi: 10.1080/10400435.2019.1619633.
- [46] J. A. A. Pauta, E. P. Vélez, and L. Serpa-Andrade, “Braille teaching electronic prototype,” *2016 IEEE Int. Autumn Meet. Power, Electron. Comput. ROPEC 2016*, 2017, doi: 10.1109/ROPEC.2016.7830573.
- [47] D. Vaca, C. Jacome, M. Saeteros, and G. Caiza, “Braille Grade 1 Learning and Monitoring System,” *2018 IEEE 2nd Colomb. Conf. Robot. Autom. CCRA 2018*, pp. 6–10, 2018, doi: 10.1109/CCRA.2018.8588144.
- [48] US Department of Defense, “Technology Readiness Assessment (TRA) Guide,” *U.S. Department of Defense*. 2011, [Online]. Available: [http://www.springerreference.com/index/doi/10.1007/SpringerReference\\_24357](http://www.springerreference.com/index/doi/10.1007/SpringerReference_24357).
- [49] Syahrul, M. F. Wicaksono, and R. H. I. Kurniawan, “Development of Independent Learning System Arabic Letters for Blind People,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 662, no. 2, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/662/2/022110.
- [50] L. Nhar, A. Jaafar, and R. Sulaiman, “Usability Evaluation Of A Mobile Phone Based Braille Learning Application ‘mBRAILLE,’” pp. 108–117, 2019.
- [51] N. L. Cruz, E. K. García, Á. Quintero Sánchez, and M. A. Moreno Rocha, “SBK: Smart Braille keyboard for learning Braille literacy in blind or visually impaired people,” *ACM Int. Conf. Proceeding Ser.*, 2017, doi: 10.1145/3151470.3156645.
- [52] R. Jafri, “Electronic Braille blocks: A tangible interface-based application for teaching Braille letter recognition to very young blind children,” *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, 2014, doi:

- 10.1007/978-3-319-08599-9\_81.
- [53] J. Tang, "Using ontology and RFID to develop a new Chinese Braille learning platform for blind students," *Expert Syst. Appl.*, vol. 40, no. 8, pp. 2817–2827, 2013, doi: 10.1016/j.eswa.2012.11.023.
- [54] M. Araki, K. Shibahara, and Y. Mizukami, "Spoken dialogue system for learning Braille," *Proc. - Int. Comput. Softw. Appl. Conf.*, pp. 152–156, 2011, doi: 10.1109/COMPSAC.2011.27.
- [55] P. G. Forcelini, L. S. García, and E. P. Schultz, "Braille Technology Beyond the Financial Barriers: A braille literacy platform to efectively combat braille literacy crisis," 2018, doi: 10.1145/3218585.3218590.
- [56] D. A. Martillano, I. O. A. Alvarez, M. I. O. Cataquian, G. J. S. Santiago, and K. M. M. Sevilla, "Tactica: An android-based low-cost assistive tactile device on basic braille notation reading for visually impaired students in SPED centers with IoT technology," *J. Commun.*, vol. 14, no. 7, 2019, doi: 10.12720/jcm.14.7.593-600.
- [57] B. Mascret and A. Mille, "Supporting the learning process - More than a Braille transcription," *Assist. technol. Res. Ser.*, vol. 29, pp. 640–647, 2011, doi: 10.3233/978-1-60750-814-4-640.
- [58] B. C. Putnam and J. H. Tiger, "Teaching braille letters, numerals, punctuation, and contractions to sighted individuals," *J. Appl. Behav. Anal.*, vol. 48, no. 2, pp. 466–471, 2015, doi: 10.1002/jaba.202.
- [59] Y. Matsuda and T. Isomura, "Teaching interface of finger Braille teaching system using tablet computers," *Proc. - 2014 6th Int. Conf. Intell. Human-Machine Syst. Cybern. IHMSC 2014*, vol. 2, pp. 42–45, 2014, doi: 10.1109/IHMSC.2014.113.
- [60] Y. Matsuda, "Finger Braille Teaching System Using Tablet Computer," *Proc. - 2018 10th Int. Conf. Intell. Human-Machine Syst. Cybern. IHMSC 2018*, vol. 2, pp. 105–109, 2018, doi: 10.1109/IHMSC.2018.10131.
- [61] R. A. D. Cahya, A. N. Handayani, and A. P. Wibawa, "Mobile Braille Touch Application for Visually Impaired People using Double Diamond Approach," *MATEC Web Conf.*, 2018, doi: 10.1051/mateconf/201819715007.
- [62] P. D. Hatzigiannakoglou and E. Chytopoulos, "Design and Evaluation of a Virtual-Reality Braille Writer-Simulator," *Springer*, 2018, doi: 10.1007/978-3-319-75175-7.
- [63] M. Z. Iqbal, S. Shahid, and M. Naseem, "Interactive Urdu braille learning system for parents of visually impaired students," *ASSETS 2017 - Proc. 19th Int. ACM SIGACCESS Conf. Comput. Access.*, 2017, doi: 10.1145/3132525.3134809.
- [64] A. Kavcic, M. Pesek, and M. Marolt, "A platform for supporting learning process of visually impaired children," *2017 40th Int. Conv. Inf. Commun. Technol. Electron. Microelectron. MIPRO 2017 - Proc.*, 2017, doi: 10.23919/MIPRO.2017.7973539.
- [65] Y. Matsuda, "Teaching interface of finger braille teaching system using smartphone," *Proc. - 2016 8th Int. Conf. Intell. Human-Machine Syst. Cybern. IHMSC 2016*, 2016, doi: 10.1109/IHMSC.2016.148.
- [66] T. McCarthy, L. P. Rosenblum, B. G. Johnson, J. Dittel, and D. M. Kearns, "An artificial intelligence tutor: A supplementary tool for teaching and practicing braille," *J. Vis. Impair. Blind.*, 2016, doi: 10.1177/0145482x1611000503.
- [67] L. W. Lee, A. R. Mohamed, and A. A. Altamimi, "Design, Development, and Evaluation of an Automated e-Learning Tutorial System to Instruct Pre-Service Special Educators in the Malay Braille Code," *Asia-Pacific Educ. Res.*, vol. 24, no. 3, pp. 481–494, 2015, doi: 10.1007/s40299-014-0219-9.
- [68] T. Jain, B. Christy, A. V. Das, D. Bhaumik, and P. Satgunam, "Fittle: A Novel Braille Toy," *Optom. Vis. Sci.*, vol. 95, no. 9, pp. 902–907, 2018, doi:

- 10.1097/OPX.0000000000001268.
- [69] Z. H. Musa Jawasreh, N. Sahari Ashaari, and D. Putri Dahnil, "Braille tutorial model using braille fingers puller," *Proc. 2017 6th Int. Conf. Electr. Eng. Informatics Sustain. Soc. Through Digit. Innov. ICEEI 2017*, vol. 2017-Novem, pp. 1–5, 2018, doi: 10.1109/ICEEI.2017.8312406.
- [70] S. Gandhi, B. Thakker, and S. Jha, "Braille cell actuator based teaching system for visually impaired students," *2016 IEEE Int. Conf. Recent Trends Electron. Inf. Commun. Technol. RTEICT 2016 - Proc.*, pp. 1381–1385, 2017, doi: 10.1109/RTEICT.2016.7808057.
- [71] S. Ohtsuka, T. Tomizawa, S. Hasegawa, N. Sasaki, and T. Harakawa, "Introduction of a wireless Body-Braille device and a self-learning system," *2013 IEEE 2nd Glob. Conf. Consum. Electron. GCCE 2013*, pp. 407–409, 2013, doi: 10.1109/GCCE.2013.6664872.
- [72] A. V. Hemanth, K. S. Bharadwaj, V. Prasanthi, M. E. Harikumar, and J. R. Gini, "Arduino and solenoid valve-based text to braille converter," *Proc. 3rd Int. Conf. Smart Syst. Inven. Technol. ICSSIT 2020*, pp. 478–483, 2020, doi: 10.1109/ICSSIT48917.2020.9214158.
- [73] M. J. Ibarra, R. Gamarra, M. Aquino, V. Ibañez, C. R. Onofre, and L. Asto, "Ñawinchay: Low cost system for facilitating the Braille literacy for blind people," *Iber. Conf. Inf. Syst. Technol. Cist.*, pp. 19–22, 2019, doi: 10.23919/CISTI.2019.8760729.
- [74] S. H. Raghavendra and S. Sankaranarayanan, "SmartSlate: Rethinking tactile interfaces for the Blind," *2014 IEEE Canada Int. Humanit. Technol. Conf. IHTC 2014*, 2014, doi: 10.1109/IHTC.2014.7147560.
- [75] P. J. Osuch and S. Sinha, "An electronic solution to automate the process of Grade-1 braille training," *Proc. 3rd IEEE Glob. Humanit. Technol. Conf. GHTC 2013*, 2013, doi: 10.1109/GHTC.2013.6713652.
- [76] Y. Suppakhun and P. Serikul, "Inventive for teaching braille writing begins," *Adv. Intell. Syst. Comput.*, 2020, doi: 10.1007/978-3-030-40274-7\_43.
- [77] L. Nahar, R. Sulaiman, and A. Jaafar, *An interactive math braille learning application to assist blind students in Bangladesh*. Taylor & Francis, 2020.
- [78] M. J. Samonte, E. D. Laurente, K. M. Magno, and C. Perez, "Braille3D: Using haptic and voice feedback for braille recognition and 3D printing for the blind," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 482, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/482/1/012027.
- [79] L. Nahar, R. Sulaiman, and A. Jaafar, "'Bangla Braille learning application' in smartphones for visually impaired students in Bangladesh," *Interact. Learn. Environ.*, pp. 1–14, 2019, doi: 10.1080/10494820.2019.1619588.
- [80] M. A. Kader, R. Ahmed, M. Iftikhar Rahman Noman, A. Billah, and M. U. Apple, "Developing A Self-Learning Braille Kit for Visually Impaired People," *2018 Int. Conf. Innov. Sci. Eng. Technol. ICISSET 2018*, pp. 47–51, 2018, doi: 10.1109/ICISSET.2018.8745595.
- [81] K. Kavitha, A. Privadarshini, and V. Saradha, "Braille Teaching System for the Visually Impaired," *Proc. 2nd Int. Conf. Electron. Commun. Aerosp. Technol. ICECA 2018*, 2018, doi: 10.1109/ICECA.2018.8474928.
- [82] P. Wagh *et al.*, "E-Braille-a self-learning Braille device," *2016 22nd Natl. Conf. Commun. NCC 2016*, 2016, doi: 10.1109/NCC.2016.7561162.
- [83] A. Joshi and A. Samasgikar, "Braille tutor: A gift for the blind," *Adv. Intell. Syst. Comput.*, pp. 237–244, 2016, doi: 10.1007/978-3-319-28658-7\_20.
- [84] V. Gadiraju, A. Muehlbradt, and S. K. Kane, "BrailleBlocks: Computational Braille Toys for Collaborative Learning," *Conf. Hum. Factors Comput. Syst. - Proc.*, 2020,

- doi: 10.1145/3313831.3376295.
- [85] M. Carreño-León, J. A. Sandoval-Bringas, T. Alvarez-Robles, R. Cosio-Castro, I. Estrada Cota, and A. Leyva Carrillo, "Designing a Tangible User Interface for Braille Teaching," *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, pp. 197–207, 2020, doi: 10.1007/978-3-030-60149-2\_16.
  - [86] P. Asmal-Arias and E. Pinos-Vélez, "Prototype of Application and Keyboard for Writing Using the Braille System on a Computer," *Adv. Intell. Syst. Comput.*, 2020, doi: 10.1007/978-3-030-32033-1\_11.
  - [87] D. A. Martillano, A. F. D. Chowdhury, J. C. M. Dellosa, A. A. Murcia, and R. J. P. Mangoma, "Pindots: An assistive six-dot braille cell keying device on basic notation writing for visually impaired students with IoT technology," *ACM Int. Conf. Proceeding Ser.*, pp. 41–47, 2018, doi: 10.1145/3291078.3291106.
  - [88] V. Robles-Bykbaev, A. Guzhñay-Lucero, D. Pulla-Sánchez, F. Pesántez-Avilés, P. Suquilanda-Cuesta, and E. Bernal-Merchán, "Un entrenador de Braille multifunción basado en sistemas embebidos, aplicaciones móviles, razonamiento basado en reglas y minería," *Comput. y Sist.*, vol. 22, no. 4, pp. 1487–1502, 2018, doi: 10.13053/CyS-22-4-2795.
  - [89] G. Lee, L. C. Quero, J. Yang, H. Jung, J. Son, and J. Cho, "Slate master: A tangible Braille slate tutor for mobile devices," *Proc. 19th Int. Conf. Human-Computer Interact. with Mob. Devices Serv. MobileHCI 2017*, 2017, doi: 10.1145/3098279.3122151.
  - [90] C. Hernández, L. F. Pedraza, and D. López, "A technological device for optimizing the time taken for blind people to learn braille," *Rev. Salud Pública*, vol. 13, no. 5, pp. 865–873, 2011, doi: 10.1590/S0124-00642011000500015.
  - [91] R. R. Maher, A. Baqai, and M. Jan, "Cost effective frame work for implementing elementary education for visually impaired," *5th Int. Multi-Topic ICT Conf. Technol. Futur. Gener. IMTIC 2018 - Proc.*, pp. 1–7, 2018, doi: 10.1109/IMTIC.2018.8467214.
  - [92] Z. H. M. Jawasreh, N. S. Ashaari, and D. P. Dahnil, "The acceptance of braille self-learning device," *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.*, no. 1, pp. 246–252, 2020, doi: 10.18517/ijaseit.10.1.10263.
  - [93] A. Dhar, A. Nittala, and K. Yadav, "TACTBACK: VibroTactile Braille output using Smartphone and Smartwatch for Visually Impaired Aritra," *Proc. 13th Web All Conf. - W4A '16*, pp. 1–2, 2016, [Online]. Available: <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2899475.2899514>.
  - [94] R. B. Paradedá, A. F. De Luna E Silva, J. Granatyr, and A. Signoretti, "BrailleApp: Educational Mobile Application to Assist in the Learning of Braille Language," *CSEDU 2015 - 7th Int. Conf. Comput. Support. Educ. Proc.*, vol. 2, pp. 523–529, 2015, doi: 10.5220/0005427805230529.
  - [95] D. S. Awang Damit, A. I. Che Ani, A. I. Muhamad, M. H. Abbas, and F. Z. Ali, "Dual braille code translator: Basic education tool for visually impaired children," *I4CT 2014 - 1st Int. Conf. Comput. Commun. Control Technol. Proc.*, pp. 399–402, 2014, doi: 10.1109/I4CT.2014.6914213.
  - [96] L. Nahar, A. Jaafar, E. Ahamed, and A. B. M. A. Kaish, *Design of a Braille learning application for visually impaired students in Bangladesh*, vol. 27, no. 3. 2015.
  - [97] w3schools, "HTML Introduction." [https://www.w3schools.com/html/html\\_intro.asp](https://www.w3schools.com/html/html_intro.asp) (accessed Mar. 25, 2021).
  - [98] w3schools, "CSS Introduction." [https://www.w3schools.com/css/css\\_intro.asp](https://www.w3schools.com/css/css_intro.asp) (accessed Mar. 25, 2021).
  - [99] w3schools, "JavaScript Introduction." <https://www.w3schools.com/js/default.asp>.
  - [100] J. Hernandez, "What is Apache? In-Depth Overview of Apache Web Serve," 2019. .

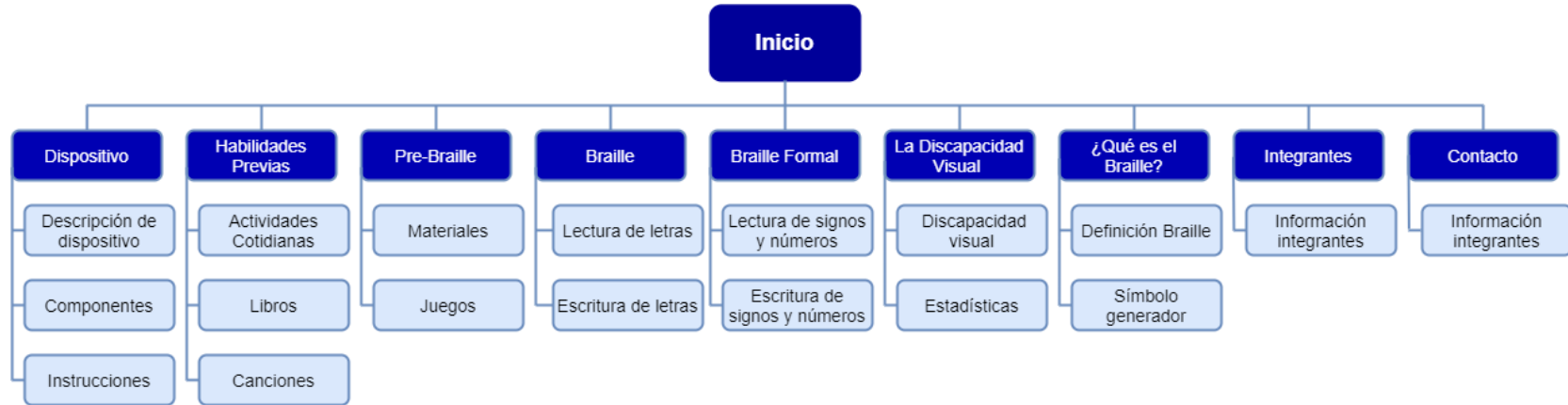
- [101] “What is a Raspberry Pi?,” *raspberrypi*. <https://www.raspberrypi.org/help/what-is-a-raspberry-pi/> (accessed May 21, 2021).
- [102] “Raspberry Pi Zero W,” *raspberrypi*. <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-zero-w/> (accessed May 21, 2021).
- [103] “¿Qué son los Interruptores magnéticos Reed-Switch?,” *shoptronica*. <https://www.shoptronica.com/curiosidades-tutoriales-y-gadgets/3981-que-son-los-interruptor-magnetico-reed-switch-0689593949974.html> (accessed May 21, 2021).
- [104] D. Bowes, T. Hall, and D. Gray, “Comparing the performance of fault prediction models which report multiple performance measures: Recomputing the confusion matrix,” *ACM Int. Conf. Proceeding Ser.*, 2012, doi: 10.1145/2365324.2365338.
- [105] Level Access, “Web accessibility by Level Access.” <https://www.webaccessibility.com/> (accessed May 20, 2021).
- [106] Soluciones Integrales VER, “Línea Braille – Focus 14 Celdas última generación para Uso Individual.” <https://ver.com.co/producto/linea-braille-focus-14-celdas-ultima-generacion-para-uso-individual/>.
- [107] Elcom, “AA Compliance Insights: Why WCAG 2.0 Is Important.” <https://www.elcom.com.au/resources/blog/aa-compliance-insights-why-wcag-2-0-is-important> (accessed Apr. 27, 2021).
- [108] A. Popescu, “What accessibility is and why it’s so important,” *UX Collective*. <https://uxdesign.cc/what-accessibility-is-and-why-its-so-important-9c56e033ff26>.
- [109] J. Reilly, “Build a progressive web app (PWA) with React,” *LogRocket*, 2021. <https://blog.logrocket.com/from-create-react-app-to-pwa/>.

## ANEXOS

### Anexo 1. Diagrama de Gantt

Actividades	Semana																Semana 1	18 Enero- 24 Enero
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Semana 2	25 Enero- 31 Enero
Estado del Arte (discapacidad visual)																	Semana 3	01 Febrero- 07 Febrero
Anteproyecto																	Semana 4	08 Febrero- 14 Febrero
Revisión de literatura																	Semana 5	15 Febrero- 21 Febrero
Redacción del documento																Semana 6	22 Febrero- 28 Febrero	
Ajustes del Hardware y Software																Semana 7	01 Marzo- 07 Marzo	
Crear una red de area local (LAN)																Semana 8	08 Marzo- 14 Marzo	
Búsqueda de pautas de accesibilidad																Semana 9	22 Marzo- 28 Marzo	
Verificación Software y Hardware																<b>Semana Santa</b>	<b>29 Marzo- 04 Abril</b>	
Validación Software y Hardware																Semana 10	05 Abril- 11 Abril	
Verificación de accesibilidad web																Semana 11	12 Abril- 18 Abril	
Modificación del sitio web																Semana 12	19 Abril- 25 Abril	
Documento Final																Semana 13	26 Abril- 02 Mayo	
Presentación																Semana 14	03 Mayo- 09 Mayo	
																Semana 15	10 Mayo- 16 Mayo	
																Semana 16	17 Mayo- 24 Mayo	

## Anexo 2 Mapa del sitio web



**Anexo 3. Valores de verificación alfabeto español**

<b>Símbolo</b>	<b>Correcto</b>	<b>Incorrecto</b>
a	50	0
b	50	0
c	50	0
d	50	0
e	50	0
f	50	0
g	50	0
h	50	0
i	50	0
j	50	0
k	50	0
l	50	0
m	50	0
n	50	0
ñ	50	0
o	50	0
p	50	0
q	50	0
r	50	0
s	50	0
t	50	0
u	49	1
v	50	0
w	50	0
x	50	0
y	49	1
z	50	0

<b>Símbolo</b>	<b>Correcto</b>	<b>Incorrecto</b>
1	50	0
2	50	0
3	50	0
4	50	0
5	50	0
6	50	0
7	50	0
8	50	0
9	50	0
. '	50	0
,	50	0
;	50	0
:	50	0
-	50	0
¿?	50	0
¡!	50	0
(	50	0
)	50	0
*	50	0
" x	50	0
/	50	0
=	50	0

#### **Anexo 4. Manual de Usuario**

A continuación, podrá encontrar el manual de usuario. De igual manera, se encuentra disponible en [http://iot.urosario.edu.co/edubraile/descargas/Manual\\_Usuario.pdf](http://iot.urosario.edu.co/edubraile/descargas/Manual_Usuario.pdf)

# EduBraille

Por la inclusión y el aprendizaje

**Manual de Usuario**

## Bienvenidos

Estamos muy felices de que quiera aprender o enseñar Braille y comparta con nosotros esta gran experiencia.

Lo invitamos a que conozca todas las funciones y modalidades que ofrece EduBraille. Queremos acompañarlo en este proceso.

¡Alfabetícese ya!

## Tabla de Contenido

Acerca de EduBraille .....	4
Descripción del Dispositivo.....	5
Conexión on-line .....	6
Conexión off-line.....	10
Conexión off-line sin uso de ordenador.....	15
Símbolos que aprenderá .....	21

## Acerca de EduBraille

**E**duBraille es un proyecto que ha sido desarrollado por un grupo interdisciplinar de estudiantes y docentes de la Universidad del Rosario y la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito desde el año 2020.

Teniendo en cuenta la literatura, se ha demostrado que una pobre alfabetización lleva a un desarrollo de la competencia en comunicación limitado y a unos resultados escolares bajos, así como, sitúa a las personas en una escala social y laboral deficiente. Este hecho se evidencia y es concordante con las estadísticas del país ya que la tasa de desempleo para la población con discapacidad visual en Colombia fue del 62% en el año 2015.

Se concluye que es fundamental que las personas con discapacidad visual se alfabeticen. La alfabetización Braille incrementa la probabilidad de obtener empleo, favorece la expresión y la comunicación, así como, brinda autonomía a las personas.

Es así como nace esta iniciativa, la cual tiene como objetivo apoyar el aprendizaje y la enseñanza del sistema Braille. Este proyecto busca proveer una herramienta de apoyo en el proceso de aprendizaje y enseñanza, para facilitar el acceso a educación para la población con discapacidad visual en Colombia, así como también facilitar el desarrollo de la vida cotidiana con mayor independencia.

## Descripción del Dispositivo

EduBraille cuenta con un dispositivo que tiene como objetivo ofrecer asistencia en el proceso de aprendizaje y enseñanza del sistema Braille.



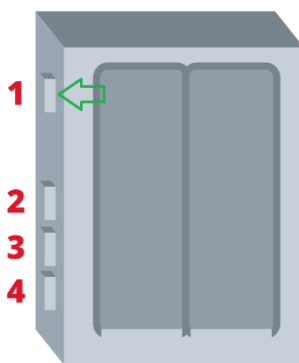
Como se puede observar en las imágenes, el dispositivo tiene una matriz de 3x2, mejor llamada símbolo generador en el cual se deberán formar las diferentes combinaciones de puntos con las fichas que acompañan a la herramienta.

El dispositivo cuenta con 20 fichas con las cuales usted podrá formar las combinaciones de puntos que desee, algunas fichas tendrán en la parte superior unas semi-esferas y otras serán planas. A su vez, usted necesitará hacer uso de un cable USB micro USB o USB micro a tomacorriente para conectar el dispositivo.

## Conexión on-line

Uno de los modos en que usted puede utilizar el sistema EduBraille es **con conexión a internet**. A continuación, encontrará el paso a paso del proceso que debe llevar a cabo para el uso eficiente de la herramienta.

1. Encienda su computador
2. Ingrese el cable USB micro USB al primer puerto de entrada del dispositivo y conéctelo al ordenador.



**Los pasos 3 a 7 pueden realizarse desde su teléfono celular o desde su ordenador.**

3. Diríjase a la pestaña de configuración de red que se encuentra en la parte inferior de la pantalla de su ordenador.
4. Por favor acceda a la red “Configurar\_red\_Edubraille”.



Configurar\_Red\_EduBraille  
Abierta

Es posible que otras personas puedan ver la información que envíe a través de esta red

Conectar automáticamente

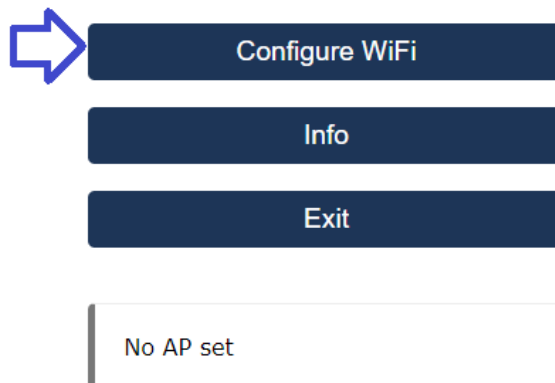


Conectar

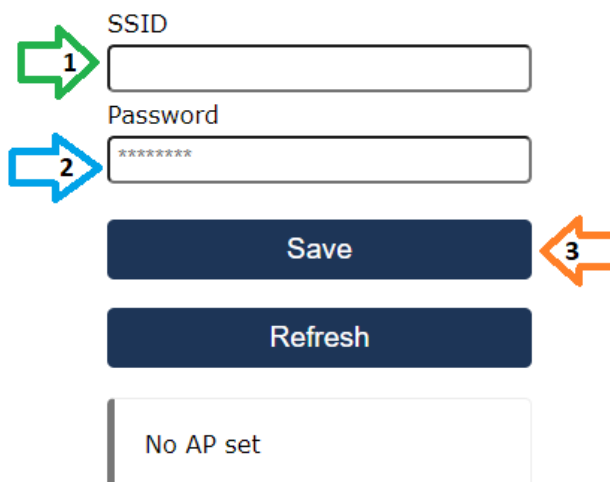
5. En su navegador debe abrirse una nueva pestaña, en caso de que no sea así por favor ingrese en su barra de navegación la siguiente dirección: 192.168.4.1. A continuación, de click en la opción “Configure WiFi”.

## EduBraille

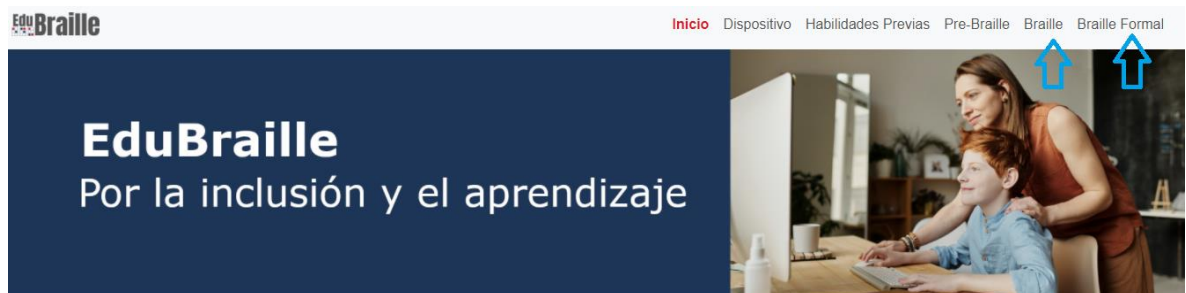
### Por la inclusión y el aprendizaje



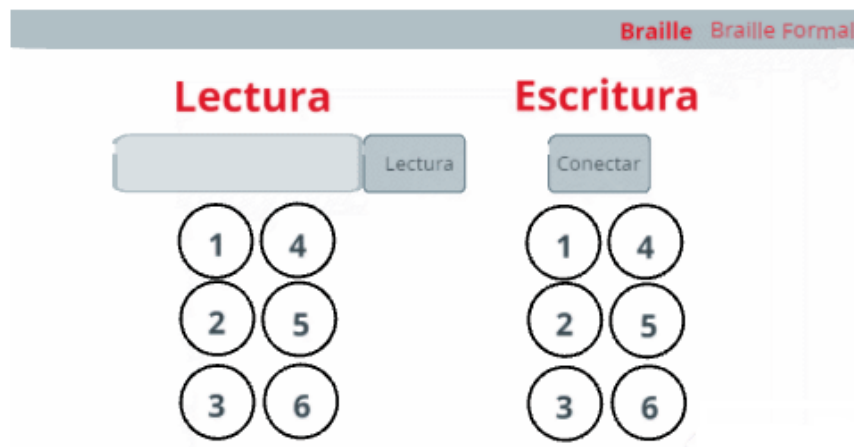
6. Ingrese el nombre de la red WiFi a la que desea conectarse en el campo “SSDI” (1). Ingrese la clave de la red en el campo “Password” (2). Tenga en cuenta que es posible que aparezcan las redes WiFi que se encuentran cerca de usted, también puede seleccionar alguna de estas redes. Una vez haya ingresado las credenciales o haya seleccionado una red, de click en la opción “Save” (3).



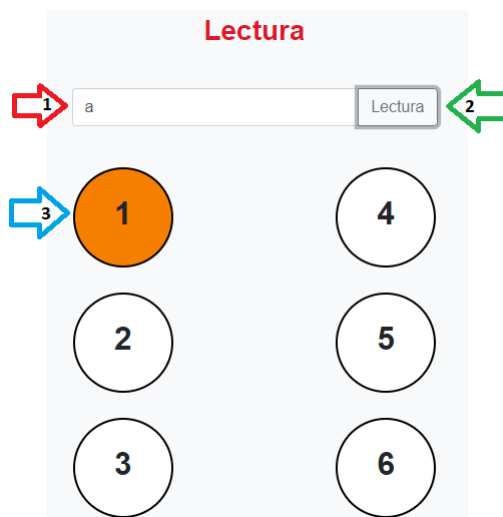
- Una vez haya realizado la configuración del dispositivo por favor conecte su ordenador a una red WiFi.
- Por favor ingrese el siguiente enlace en la barra de búsqueda de su navegador: <http://iot.urosario.edu.co/edubraille> . Usted podrá observar el inicio del sitio web de EduBraille.
- Usted puede viajar por las diferentes secciones que componen el sitio web, lo invitamos a que siga el proceso de aprendizaje como se indica en el sitio web y cuando se sienta listo por favor continúe con el paso 10.
- Ingrese a la pestaña “Braille” o “Braille Formal”.



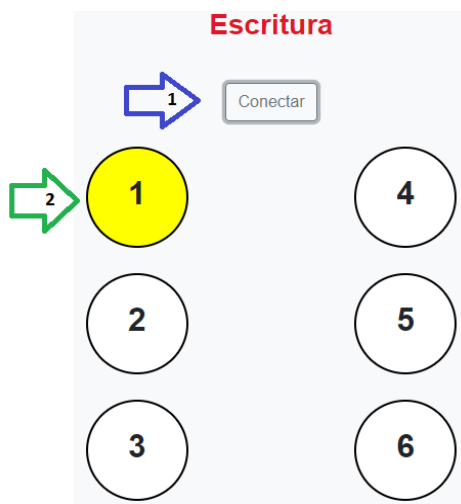
- Diríjase a la sección de “Lectura y Escritura” que se encuentra en la parte inferior de la página.



- En la sección lectura digita la letra, número o signo de puntuación que desea conocer en el sistema Braille (1). De click en el botón lectura (2), de esta manera obtendrá la configuración de puntos y realimentación auditiva de la letra que ha ingresado (3).



13. Una vez haya aprendido la combinación de puntos del símbolo, con ayuda de las piezas que tienen esferas y las que no, arme la misma configuración en el dispositivo.
14. Por último, de click en el botón “Conectar” (1). De esta manera obtendrá la realimentación visual y auditiva del símbolo que ha formado en el dispositivo (2).

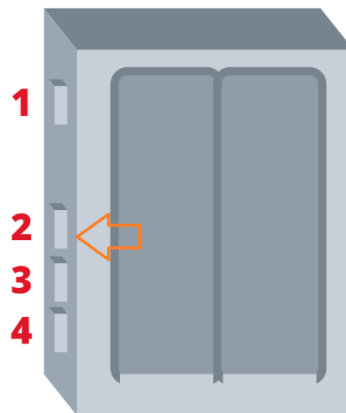


15. En caso de que la figura que había configurado en el dispositivo no represente ninguna letra, número o signo, no se preocupe y vuelva a intentarlo, usted se encuentra en un proceso de aprendizaje.
16. No pare de aprender.

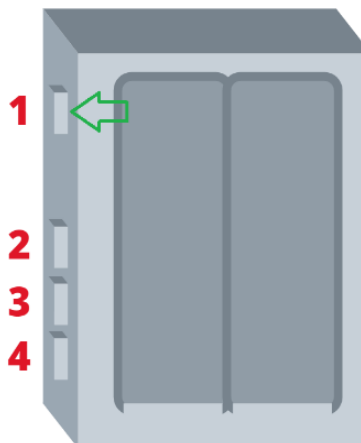
## Conexión off-line

Otro de los modos en que usted puede utilizar el sistema EduBraille es sin conexión a internet. A continuación, encontrará el paso a paso del proceso que debe llevar a cabo para el uso eficiente de la herramienta.

1. Encienda su computador
2. Ingrese el cable micro USB al segundo puerto de entrada del dispositivo y conéctelo al tomacorriente.

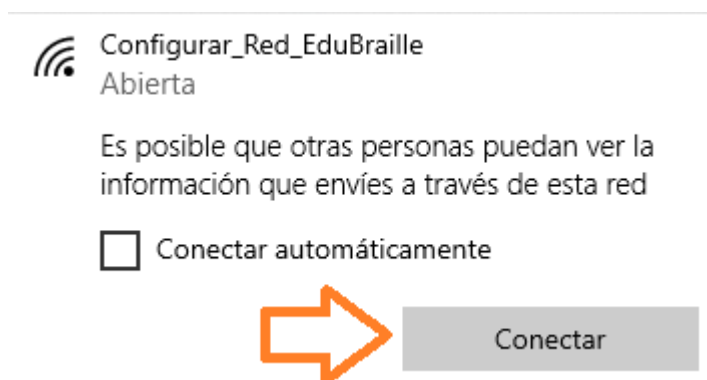


3. Ingrese el cable USB micro USB al primer puerto de entrada del dispositivo y conéctelo al ordenador o a un tomacorriente.

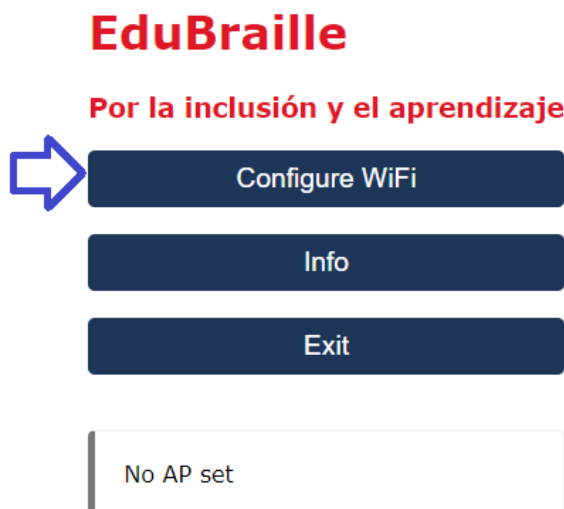


Los pasos 4 a 7 pueden realizarse desde su teléfono celular o desde su ordenador.

4. Diríjase a la pestaña de configuración de red que se encuentra en la parte inferior de la pantalla de su ordenador.
5. Por favor acceda a la red “Configurar\_red\_Edubraille”.

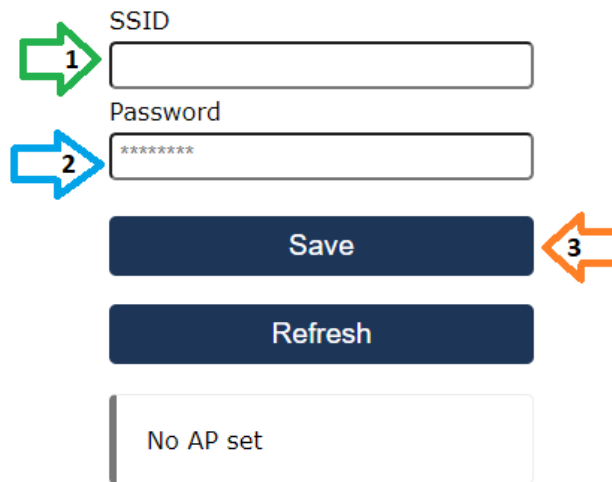


6. En su navegador debe abrirse una nueva pestaña, en caso de que no sea así por favor ingrese en su barra de navegación la siguiente dirección: **192.168.4.1**. A continuación, de click en la opción “Configure WiFi”.

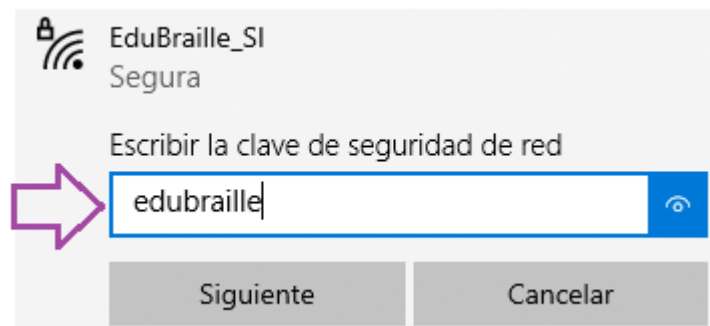


7. Ingrese el nombre “**EduBraille\_SI**” en el campo “SSDI” o seleccione esta red de las opciones que aparecen en pantalla (1). Ingrese la clave

“**edubraille**” en el campo “Password” (2). Una vez haya ingresado las credenciales, de click en la opción “Save” (3).



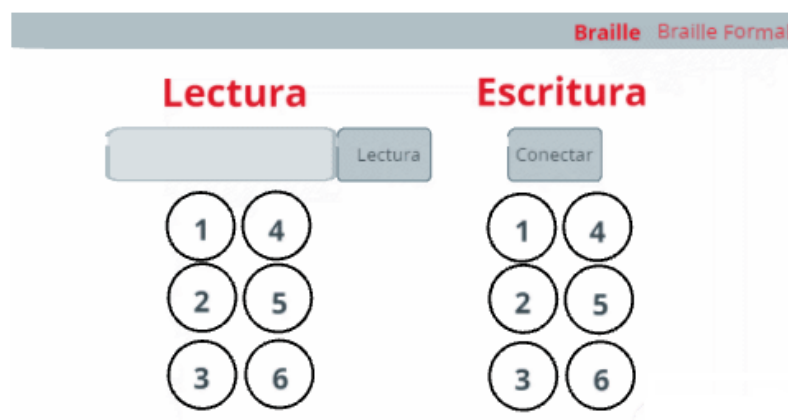
8. Una vez haya realizado la configuración del dispositivo por favor conecte su ordenador a la red WiFi “**EduBraille\_SI**”, ingrese la clave de seguridad: **edubraille**.



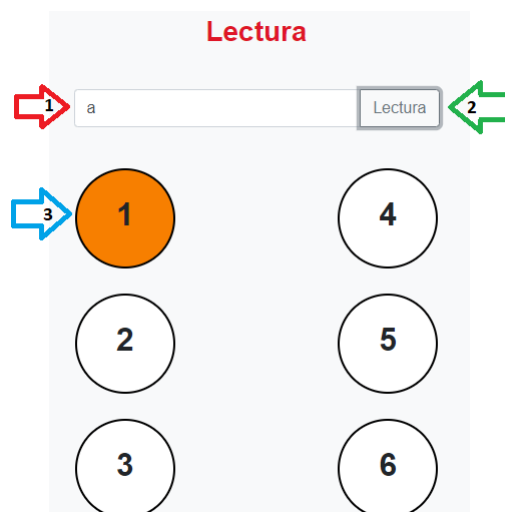
9. Por favor ingrese el siguiente enlace en la barra de búsqueda de su navegador: <http://192.168.4.1/SistemaBrailleUR/PagWeb/braille.html>. Usted podrá observar el inicio del sitio web de EduBraille.
10. Usted puede viajar por las diferentes secciones que componen el sitio web, lo invitamos a que siga el proceso de aprendizaje como se indica en la página y cuando se sienta listo por favor continúe con el paso 10.
11. Ingrese a la pestaña “Braille” o “Braille Formal”.



12. Diríjase a la sección de “Lectura y Escritura” que se encuentra en la parte inferior de la página.



13. En la sección lectura digita la letra, número o signo de puntuación que desea conocer en el sistema Braille (1). De click en el botón lectura (2), de esta manera obtendrá la configuración de puntos y realimentación auditiva de la letra que ha ingresado (3).



14. Una vez haya aprendido la combinación de puntos del símbolo, con ayuda de las piezas que tienen esferas y las que no, arme la misma configuración en el dispositivo.
15. Por último, de click en el botón “Conectar” (1). De esta manera obtendrá la realimentación visual y auditiva del símbolo que ha formado en el dispositivo (2).

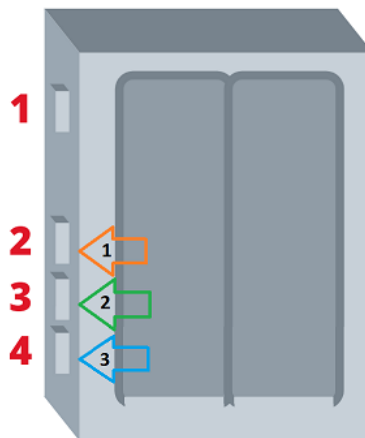


16. En caso de que la figura que había configurado en el dispositivo no represente ninguna letra, número o signo, no se preocupe y vuelva a intentarlo, usted se encuentra en un proceso de aprendizaje.
17. No pare de aprender.

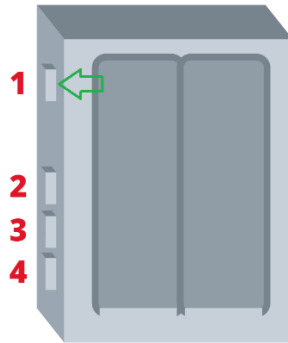
## Conexión off-line sin uso de ordenador

La última modalidad en que usted puede utilizar el sistema EduBraille es **sin conexión a internet y sin hacer uso de un ordenador**. A continuación, encontrara el paso a paso del proceso que debe llevar a cabo para el uso eficiente de la herramienta.

1. Encienda su computador
2. Ingrese el cable micro USB al segundo puerto de entrada del dispositivo y conéctelo al tomacorriente (1). Inserte el cable USB a USB doble en el tercer puerto de entrada del dispositivo (2) y conecte las dos salidas al teclado y el mouse. Ingrese el cable USB micro HDMI en el ultimo puerto de entrada del dispositivo (3) y conéctelo a una pantalla.

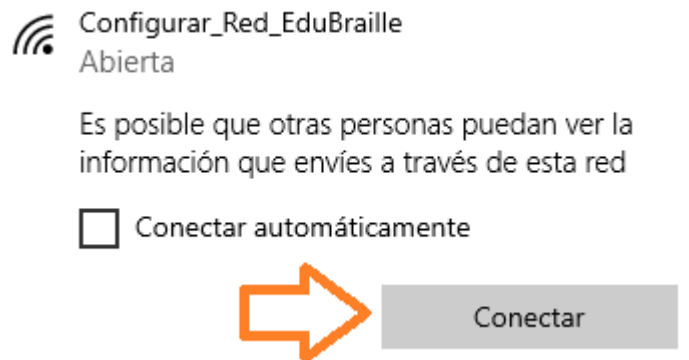


3. Ingrese el cable USB micro USB al primer puerto de entrada del dispositivo y conéctelo al ordenador o al tomacorriente.



Los pasos 4 a 7 pueden realizarse desde su teléfono celular o desde su ordenador. Tenga en cuenta que solo en estos pasos debe hacer uso de estos dispositivos.

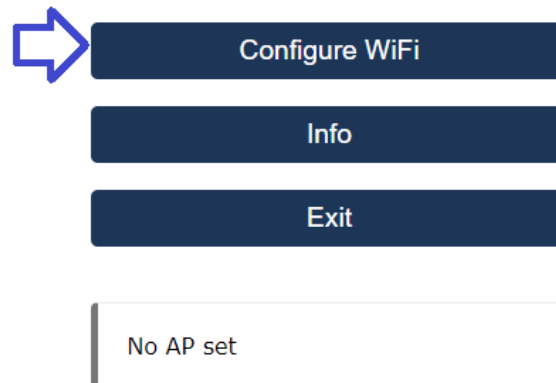
4. Diríjase a la pestaña de configuración de red que se encuentra en la parte inferior de la pantalla de su ordenador.
5. Por favor acceda a la red “Configurar\_red\_Edubraille”.



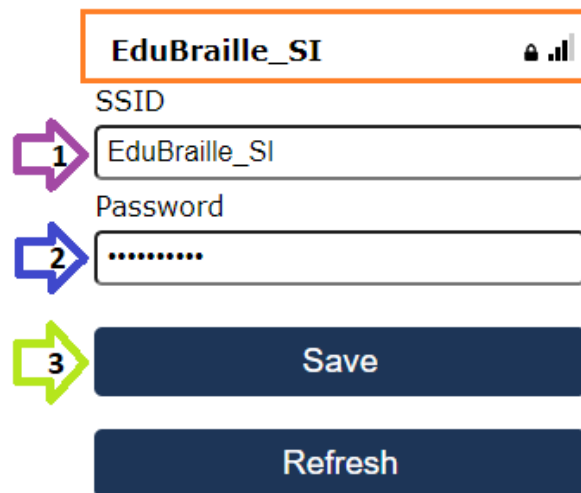
6. En su navegador debe abrirse una nueva pestaña, en caso de que no sea así por favor ingrese en su barra de navegación la siguiente dirección: 192.168.4.1. A continuación, de click en la opción “Configure WiFi”.

## EduBraille

Por la inclusión y el aprendizaje



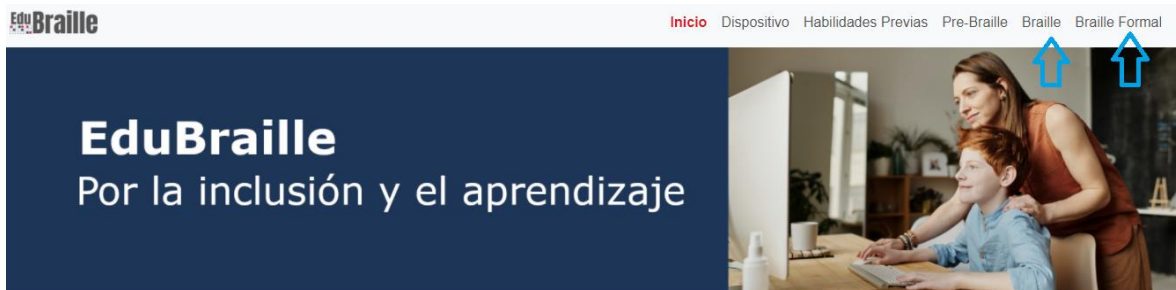
7. Ingrese el nombre “EduBraille\_SI” en el campo “SSID” o seleccione esta red de las opciones que aparecen en pantalla (1). Ingrese la clave “**edubraille**” en el campo “Password” (2). Una vez haya ingresado las credenciales, de click en la opción “Save” (3).



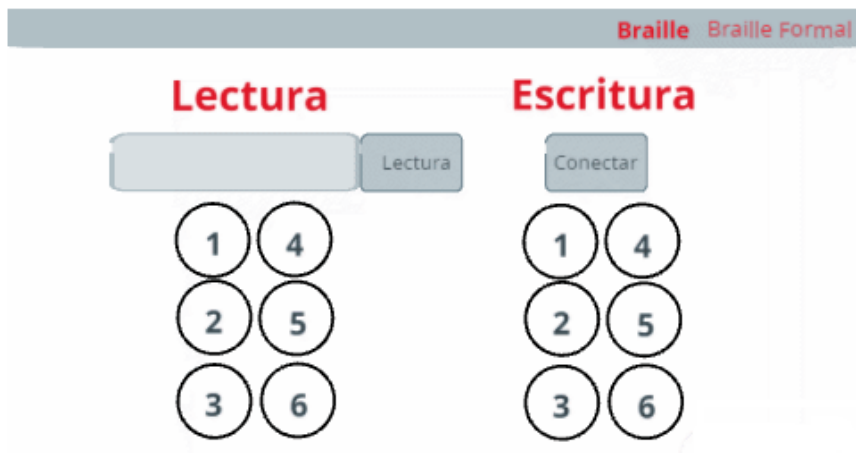
8. Una vez haya realizado la configuración del dispositivo por favor de doble click en el logo de EduBraille que se encuentra en el inicio del escritorio (visualización en la pantalla).



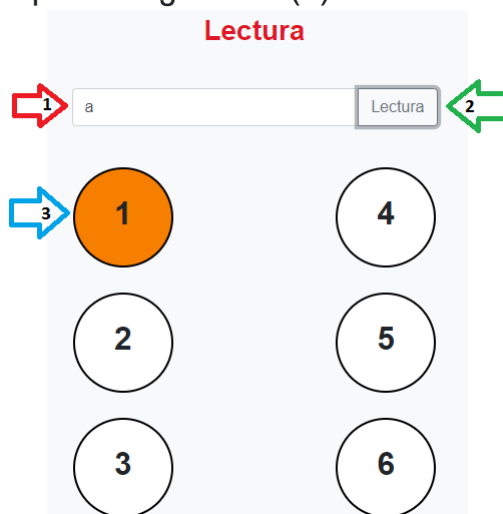
9. Usted podrá observar el inicio del sitio web de EduBraille. Podrá viajar por las diferentes secciones que componen el sitio web, lo invitamos a que siga el proceso de aprendizaje como se indica en la página y cuando se sienta listo por favor continúe con el paso 10.
10. Ingrese a la pestaña “Braille” o “Braille Formal”.



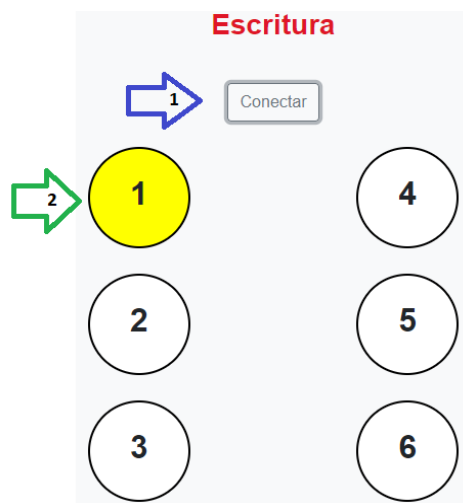
11. Diríjase a la sección de “Lectura y Escritura” que se encuentra en la parte inferior de la página.



12. En la sección lectura digita la letra, número o signo de puntuación que desea conocer en el sistema Braille (1). De click en el botón lectura (2), de esta manera obtendrá la configuración de puntos y realimentación auditiva de la letra que ha ingresado (3).



13. Una vez haya aprendido la combinación de puntos del símbolo, con ayuda de las piezas que tienen esferas y las que no, arme la misma configuración en el dispositivo.
14. Por último, de click en el botón “Conectar” (1). De esta manera obtendrá la realimentación visual y auditiva del símbolo que ha formado en el dispositivo (2).



15. En caso de que la figura que había configurado en el dispositivo no represente ninguna letra, número o signo, no se preocupe y vuelva a intentarlo, usted se encuentra en un proceso de aprendizaje.

16. No pare de aprender.

**Nota:** Tenga en cuenta que si hace uso de la modalidad off-line no podrá acceder a la información de la sección **Contacto** dentro del sitio web.

## Símbolos que aprenderá

A continuación, encontrará una lista de todas las letras, consonantes, números y signos de puntuación que podrá aprender en el sistema Braille con ayuda de EduBraille.

Símbolo	Símbolo	Símbolo
a	á	}
b	é	*
c	í	“ “
d	ó	‘
e	ú	(
f	0	)
g	1	/
h	2	+
i	3	x
j	4	‘ ‘
k	5	ind-n
l	6	ind-m
m	7	Ind-i
n	8	
ñ	0	
o	.	
p	,	
q	;	
r	:	
s	¿	
t	?	
u	!	
v	-	
w	[	
x	]	
y	{	
z	}	