



AccesBot: electrónica educativa para personas con discapacidad visual.

Jessica Betancourt Puerta

Proyecto de práctica académica para optar al título de Bioingeniera

Semestre de Industria

Asesora

Diana María Gómez Jaramillo, Doctora en ingeniería electrónica y de computación

Universidad de Antioquia

Facultad de ingeniería

Bioingeniería

Medellín

2024

Cita	Betancourt Puerta Jessica [1]
Referencia	[1] Betancourt Puerta, Jessica. “AccesBot: electrónica educativa para personas con discapacidad visual”, Semestre de industria, Bioingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín, 2024.
Estilo IEEE	
(2020)	



CENDOI.

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Sin mi familia, esto no sería posible... Papá, Mamá y especialmente mi hermana, por fin lo logramos.
A mi futuro esposo, Diego, que me ha acompañado los últimos años, que ha sido la calma en medio de mi caos.
Los amo inmensamente.

Agradecimientos

Estoy especialmente agradecida con mis papás, gracias por creer en mí durante estos 12 años universitarios, gracias por darme lo mejor siempre, hoy soy lo que soy gracias a ustedes y este título les pertenece.

Gracias a todos los que pasaron en mi camino universitario, gracias a los profesores que me han formado, pero muy especialmente gracias a la profe Diana Gómez, gracias por creer en este proyecto y acompañarme en el proceso. Gracias a la Fundación EPM que me ha permitido crecer profesionalmente, gracias a Felipe Corrales, coordinador de la Biblioteca EPM la que ha sido como mi hogar e infinitas gracias, especialmente al equipo de robótica, Edgar Montoya, Daniel Jiménez, Diego Cardona, Stiven Naranjo, Jeferson Hurtado y Catalina Beltrán, sin ustedes esto no hubiera sido posible, gracias por tanto, por su apoyo, por su ayuda, por sus ideas, por sus locuras, gracias por aguantarme, gracias por enseñarme tanto cada día.

Gracias a la Fundación Ángel de Luz por permitirme compartir con ellos y abrirme las puertas de su casa, fueron inspiración para este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	8
ABSTRACT	9
I. INTRODUCCIÓN	10
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
III. JUSTIFICACIÓN.....	12
IV. OBJETIVOS	13
A. Objetivo general	13
B. Objetivos específicos.....	13
V. MARCO TEÓRICO	14
VI. METODOLOGÍA	17
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
IX. CONCLUSIONES	38
X REFERENCIAS	41
ANEXOS.....	44

LISTA DE TABLAS

TABLA I.....25

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Primera parte de la metodología.	17
Fig. 2. Segunda parte de la metodología.	18
Fig. 3. Tercera parte de la metodología.....	19
Fig. 4. Símbolos en braille de negativo y positivo.	21
Fig. 5. Base con marcación braille para LED	21
Fig. 6. ColorADD.....	22
Fig. 7. Cartilla con el código de colores en 3D.	22
Fig. 8. Base con marcación braille para resistencia de 330 ohm.	23
Fig. 9. Base con marcación braille par batería 9V.	23
Fig. 10. Circuito de prueba con LED.	24
Fig. 11. Base con marcación braille para buzzer.....	24
Fig. 12. Base con marcación braille para potenciómetro.	24
Fig. 13. Esquemático circuito amplificador de audio.....	25
Fig. 14. Base con marcación braille para resistencia de 10 ohm.	26
Fig. 15. Base con marcación braille para capacitor de 0.1uF.....	26
Fig. 16. Base con marcación braille para capacitor electrolítico de 10uF.	27
Fig. 17. Base con marcación braille para capacitor electrolítico de 220uF.	27
Fig. 18. Base con marcación braille para bocina.....	27
Fig. 19. Base con marcación braille para amplificador operacional.	28
Fig. 20. Protoboard pequeña adaptada.	29
Fig. 21. Participante de la muestra con los componentes adaptados.....	30
Fig. 22. Dos participantes con las bases desarrolladas.....	31
Fig. 23. Circuito detector de nivel.....	32
Fig. 24. Fotos de los participantes del curso en la Biblioteca EPM.....	33
Fig. 25. Material didáctico en braille.	33
Fig. 26. Captura de pantalla del material audiovisual.	34
Fig. 27. Diseño del teclado para programación con personas ciegas.....	35
Fig. 28. Interfaz gráfica con Python.....	35

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

3D	Tres dimensiones
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas
OMS	Organización Mundial de la Salud
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
LED	Light-emitting diode
CAD	Computer Aided Design

RESUMEN

La electrónica y la programación son áreas de las ciencias exactas e ingenierías que tienen un gran potencial para el desarrollo tecnológico de la sociedad. Sin embargo, las personas con discapacidad visual enfrentan importantes dificultades para desempeñarse en la parte práctica de algunas de estas áreas debido al predominio de elementos visuales. Para el caso de la implementación de circuitos eléctricos, es importante identificar, por ejemplo, la polarización de fuentes de voltaje, los pines de conexión en circuitos integrados y el código de colores para ciertos elementos circuitales, tareas que resultan complejas para personas invidentes. En este proyecto se desarrolló un kit de electrónica educativa, que sea replicable y económico, para ayudar a las personas con discapacidad visual en el montaje de circuitos electrónicos. Para lograrlo se realizó la impresión de bases en una impresora 3D, dichas bases tienen una marcación en lenguaje braille que permite identificar el nombre del componente, la polaridad en los pines y el código de colores de las resistencias, en caso de que se requiera, además, se diseñó una Protoboard adaptada con marcación táctil para facilitar la ubicación de los nodos en ella y se elaboró material didáctico en braille y audio que permita a las personas interesadas utilizar el kit. Este material se puso a prueba con grupos de personas con ceguera total y baja visión, quienes después de participar en un curso de electrónica básica expresaron que las adaptaciones realizadas fueron apropiadas.

Palabras clave — **Electrónica, inclusión, discapacidad visual, diseño 3D.**

ABSTRACT

Electronics and programming are fields within the exact sciences and engineering that hold significant potential for technological advancement in society. However, individuals with visual impairments face considerable challenges in performing the practical aspects of these areas due to the predominance of visual elements. In the case of implementing electrical circuits, it is crucial to identify factors such as voltage source polarization, connection pins in integrated circuits, and the color coding of certain circuit components—tasks that prove complex for blind individuals. This project developed an educational electronics kit that is both replicable and cost-effective, designed to assist visually impaired individuals in assembling electronic circuits. To achieve this, 3D-printed bases were created with braille markings to identify component names, pin polarity, and, when necessary, resistor color codes. Additionally, an adapted Protoboard with tactile markings was designed to facilitate node placement, and instructional materials in braille and audio formats were created to enable users to effectively utilize the kit. This kit was tested with groups of individuals with total blindness and low vision, who, after participating in a basic electronics course, expressed that the provided adaptations were appropriate.

***Keywords* — Electronics, inclusion, visual impairment, 3D design.**

I. INTRODUCCIÓN

Dentro de la ingeniería, temas como la electrónica y la programación representan algunas de las tendencias en la sociedad actual, siendo estos muy llamativos para jóvenes y adultos interesados en adentrarse en el mundo de la tecnología. Sin embargo, las personas con discapacidad visual encuentran obstáculos significativos al intentar participar en estas áreas, debido a la necesidad de manipular elementos circuitales pequeños y que requieren una conexión específica para que funcionen correctamente. Por ejemplo, la identificación de componentes electrónicos o la determinación de la polaridad de los circuitos a menudo depende del color, lo que limita la accesibilidad y excluye a las personas ciegas, generando oportunidades limitadas en su acceso a la educación y al desarrollo profesional en este campo del conocimiento.

Por lo anterior, si las personas invidentes pueden acceder a componentes electrónicos cuya conexión sea modular o con marcación táctil, podrán adquirir más fácil el conocimiento en esta área haciendo más incluyente el estudio de la electrónica en este tipo de población.

En este proyecto se propuso desarrollar un kit de electrónica educativa que sea replicable y económico, utilizando impresión 3D, para la realización de bases con marcación en braille que permitan identificar el nombre del componente, la polaridad, el color, entre otros, y se diseñó una Protoboard adaptada con marcación táctil permitiendo a las personas con discapacidad visual realizar conexiones entre componentes de forma autónoma. Adicionalmente, se realizó material didáctico educativo en lenguaje braille y formato audio que le facilite a este grupo de personas hacer uso del kit.

Para poner a prueba el funcionamiento de este se implementó un curso de electrónica básica en la Biblioteca EPM para personas ciegas y con baja visión, es decir, han perdido su capacidad visual por diversas situaciones de salud, también se realizó una experiencia del curso en una fundación para personas con discapacidad visual.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según la OMS se estima que a nivel mundial aproximadamente 1300 millones de personas viven con alguna forma de deficiencia visual y que 285 millones de personas tienen discapacidad visual, de las cuales 39 millones son ciegos y 246 millones presentan baja visión [1].

En Colombia, aproximadamente dos millones de personas viven con alguna discapacidad visual, aproximadamente un 4% de la población de todo el país, de este grupo 12.466 personas están entre los 15 y 29 años, población que se encuentra en edad escolar y que según estadísticas del DANE solo el 14,3% de las personas con discapacidad visual tiene educación superior en comparación con el 21,0% de las personas sin discapacidad [2]. De acuerdo con un estudio realizado por Rojas *et al.* [3], de 108 personas con discapacidad entrevistadas, un 7% tiene discapacidad visual, de este estudio además, se resalta que un 27,3% de los encuestados se encuentran interesados en estudiar carreras de ingeniería, aunque no está descrito de la población con discapacidad visual que porcentaje específico desea estudiar esta área, es importante pensar en las formas como la Universidad de Antioquia y especialmente la Facultad de Ingeniería pueden abrirse a la inclusión de personas con diferentes discapacidades, especialmente las personas ciegas.

Aunque dentro de las ingenierías existen muchas ramas y es difícil determinar el interés de las personas con discapacidad visual en áreas como la electrónica, programación o robótica, las cuales son de interés para este proyecto, se puede realizar un análisis crítico de los elementos que hacen parte del estudio de estas áreas, como, por ejemplo, las resistencias, cables, placa de pruebas (Protoboard), entre otros. Al revisar de forma rápida estos componentes tienen una identificación es visual, ya sea por colores, tamaños, marcaciones escritas u otros, además, estas marcas tan pequeñas pueden resultar difíciles de manipular, incluso para personas sin ninguna discapacidad, así pues, estos componentes considerados básicos dentro del aprendizaje de la electrónica representan en sí mismos una barrera para las personas con discapacidad visual, por este motivo se hace necesario buscar alternativas o nuevas formas de construcción de estos componentes que permitan a la persona con visión reducida acceder a esta área del conocimiento, ya sea como parte de sus estudios superiores o en formaciones complementarias como las que se brindan en la Biblioteca EPM.

III. JUSTIFICACIÓN

Con la creciente demanda por parte de colectivos, entidades y organizaciones sociales para que las instituciones sean cada vez más inclusivas, y de acuerdo con la alineación de la Universidad de Antioquia y la Fundación EPM con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), se hace necesaria la búsqueda de estrategias y adaptaciones que permitan a ambas instituciones ser más inclusivas, especialmente con la población con discapacidad visual, aportando así de manera significativa al ODS 10 “*Reducción de las desigualdades*” [4], ya que esta población se enfrenta a diferentes dificultades a la hora de acceder al aprendizaje de temas como la electrónica y la robótica, disciplinas que toman cada vez más fuerza y se hacen más relevantes en la sociedad actual.

Como se mencionó anteriormente una de las principales barreras que encuentra esta población al interesarse por este tema radica en la forma de identificación y la miniaturización de los diferentes componentes electrónicos, pues todo se basa en colores, formas o textos demasiados pequeños.

La bioingeniería integra conocimientos en biología, medicina, tecnología y electrónica, de forma que permite crear soluciones adaptadas a las necesidades específicas de las poblaciones, en este caso las personas con discapacidad visual, derribando las barreras que impiden su participación plena en la sociedad y aportando al diseño inicial de elementos básicos usados en la bioinstrumentación que ayuden a la formación de futuros bioingenieros con discapacidad visual.

Desde esta área se busca innovar desarrollando tecnologías y dispositivos que faciliten la independencia e integración social de las personas, por esto, al desarrollar ayudas táctiles que promuevan la inclusión en diversas actividades a las personas con discapacidad visual se garantiza que esta población pueda acceder a diferentes ofertas académicas o laborales.

Teniendo esto en cuenta, es imperativo abordar esta problemática debido a la necesidad de garantizar la igualdad de oportunidades en el ámbito tecnológico, ya que con su exclusión de estas áreas no solo se viola su derecho a la educación de calidad y trabajo decente, sino que posiblemente se estén desaprovechando sus talentos e ideas que podrían aportar soluciones innovadoras a la sociedad y se promueve la diversidad y equidad, lo que enriquece el panorama tecnológico y beneficia a toda la sociedad.

IV. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Desarrollar un kit de herramientas de electrónica educativa adaptado para personas con discapacidad visual que favorezcan el aprendizaje y la implementación de circuitos eléctricos.

B. Objetivos específicos

- Diseñar e implementar elementos táctiles y/o sonoros para la identificación de componentes electrónicos básicos usados en electrónica.
- Evaluar la usabilidad y la accesibilidad del kit de herramientas de electrónica educativa con un grupo de personas con discapacidad visual, mediante pruebas de usuario y entrevistas.
- Diseñar material didáctico en lenguaje braille y formato de audio para la validación del funcionamiento del kit de herramientas para electrónica.

V. MARCO TEÓRICO

El desarrollo de actividades de electrónica para personas con discapacidad visual ha sido un tema de interés para la inclusión de invidentes en el aprendizaje de esta área, sin embargo, se han implementado pocas adaptaciones que faciliten la conexión de componentes electrónicos y se ha optado por utilizar kits de robótica educativa ya existentes como los LEGO.

La investigación realizada por Oliveira *et al.* [5] es un hallazgo importante en la enseñanza de la electrónica, ya que muestra diferentes metodologías de enseñanza basadas en talleres y tutoriales específicamente diseñados para personas con discapacidad visual, en este trabajo, se usaron kits de robótica de LEGO Mindstorms NXT, que, por su forma, es de fácil identificación táctil. Además, crearon una guía detallada para la preparación, ejecución y evaluación de talleres de programación de robots. Entre las adaptaciones utilizadas se destacan la formación de instructores para trabajar con personas con discapacidades visuales, la preparación de materiales de apoyo concretos y digitales, la implementación de dinámicas de trabajo adaptadas para la enseñanza de programación, y la provisión de retroalimentación multimodal para facilitar la comprensión y corrección de códigos, sin embargo, en este proyecto no realizaron adaptaciones propias y se enfocaron más en la formación a los docentes.

En el trabajo realizado por el BASAER Team *et al.* [6], se llevó a cabo un estudio pionero en el que se exploró cómo los estudiantes con discapacidad visual podían participar en la construcción y programación de robots educativos en programas STEAM (por sus siglas en inglés: *Science, Technology, Engineering, Art and Math*). Para facilitar la participación de estos estudiantes, se realizó una comparación entre diferentes kits de robótica como el Arduino Robot Car Kit, Makeblock Mbot, Makeblock robot build kit, LEGO Mindstorm NXT, LEGO Mindstorm RCX, LEGO Mindstorm EV3 y Lego Education Wedo. Como hallazgo importante se observó que los estudiantes con discapacidad visual necesitaron menos intervención de sus compañeros sin discapacidad visual al utilizar los kits de LEGO, lo que sugiere que estos kits son más accesibles y fáciles de usar para este grupo de estudiantes en particular. Durante este trabajo se encontró que los estudiantes disfrutaron del proceso de construcción y programación de robots, lo que les motivó a explorar más en este campo y a considerar futuros estudios y carreras en áreas relacionadas, alternativas y soluciones como estas permiten disminuir brechas educativas y laborales para las personas invidentes y haciendo los programas STEAM mucho más inclusivos.

De forma similar a los trabajos anteriores, en diversos proyectos de robótica educativa e inclusión se usaron kits de LEGO, los cuales han demostrado ser bastante útiles para trabajar con personas con discapacidad visual, como el trabajo realizado por Stehling *et al.* [7] quienes diseñaron un curso práctico para estudiantes con discapacidad visual con un equipo interdisciplinario. Dentro de los principales hallazgos se destaca la importancia de proporcionar manuales impresos, otorgar más tiempo para completar tareas, ajustar la proporción de profesores a estudiantes y preordenar los materiales de construcción, sin embargo, en este trabajo no se presentan adaptaciones propias a los componentes de electrónica sino que se utilizan kits de LEGO, por esto, una de sus conclusiones es “preordenar los materiales” para de esta forma facilitar que los estudiantes encuentren más fácilmente los componentes ya que no se cuenta con ningún tipo de adaptación, por ejemplo en braille o táctil, que pueda dar a los estudiantes mayor autonomía.

Por otro lado, en el trabajo realizado por Evangelista y Severino [8], se llevaron a cabo ajustes significativos en los materiales y procedimientos metodológicos con el objetivo de facilitar la participación de los alumnos con discapacidad visual en un entorno educativo inclusivo. Entre las principales adaptaciones utilizadas se encuentran la incorporación de componentes electrónicos como el buzzer, que emite un sonido indicando la dirección de la corriente eléctrica, y el uso de tiras de fomi para delimitar espacios en la mesa de trabajo, así como polaridades, de forma que los estudiantes logaran identificar la polaridad de los componentes. Estas adaptaciones les permitieron a estos estudiantes comprender y participar activamente en las actividades experimentales de electrodinámica. Las adaptaciones implementadas fueron muy interesantes, sin embargo, son bastante artesanales y poco duraderas en el tiempo.

En cuanto a la implementación de la impresión 3D como herramienta para adaptar elementos circuitales, el trabajo realizado por Davis *et al* [9] presenta un novedoso dispositivo que permite a los usuarios con discapacidad visual interactuar con un modelo 3D de un circuito que proporciona instrucciones de tutorial en audio mientras se toca, este dispositivo llamado TangibleCircuits permite acceder a la electrónica de forma autónoma, se evidenció que los usuarios con pérdida de la capacidad visual comprendían mejor la información geométrica, espacial y estructural del circuito utilizando este dispositivo.

En el prototipo BlindTI desarrollado por Aldana *et al* [10] cuyo principal objetivo fue facilitar el aprendizaje del braille y conceptos de tecnologías emergentes, como la electrónica, robótica y programación, también se utilizó el diseño CAD (por sus siglas en inglés *computer aided*

design) y componentes electrónicos para construir el tablero didáctico, el cual es un sistema interactivo que permita a las personas con discapacidad visual aprender de manera inclusiva y accesible conceptos de algoritmia.

En recientes estudios se ha involucrado la robótica como herramienta para el aprendizaje de las matemáticas, como en el artículo publicado por Al Omoush y Mehigan [11], donde se implementaron adaptaciones multisensoriales para garantizar la accesibilidad de las personas con discapacidad visual a estos temas, como retroalimentación táctil y auditiva, a pesar de los retos los autores destacan la importancia de involucrar la robótica en la educación de esta población para empoderarlos y mejorar su desempeño académico.

Estos trabajos sientan unas buenas bases de partida para este proyecto buscando mejorar la accesibilidad de las personas ciegas en el área de robótica e ingeniería. Las investigaciones revisadas ofrecen perspectivas valiosas sobre las adaptaciones metodológicas y de materiales que pueden facilitar la participación y autonomía de los estudiantes con discapacidad visual en entornos educativos inclusivos.

VI. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este proyecto se siguió la metodología presentada en los siguientes bloques, en la Fig. 1, se muestra el proceso planteado para dar solución al primer objetivo específico, en este punto se realizó la búsqueda de material bibliográfico que pudiese dar luces sobre como desarrollar las adaptaciones que se proponían, además, se revisó los materiales más utilizados en la Biblioteca EPM para los cursos de electrónica básica y robótica, para seleccionar los que se debían adaptar, luego de ambas revisiones se diseñó en software CAD los componentes básicos para realizar las pruebas preliminares.

Se realizó la impresión en 3D de los primeros prototipos y se ensamblaron los componentes para con estos hacer pruebas de conexión, continuidad y funcionamiento, para posteriormente incorporar mejoras de acuerdo con estas, en este punto se realizó también el diseño de la Protoboard adaptada para probar su funcionamiento con la población objetivo.

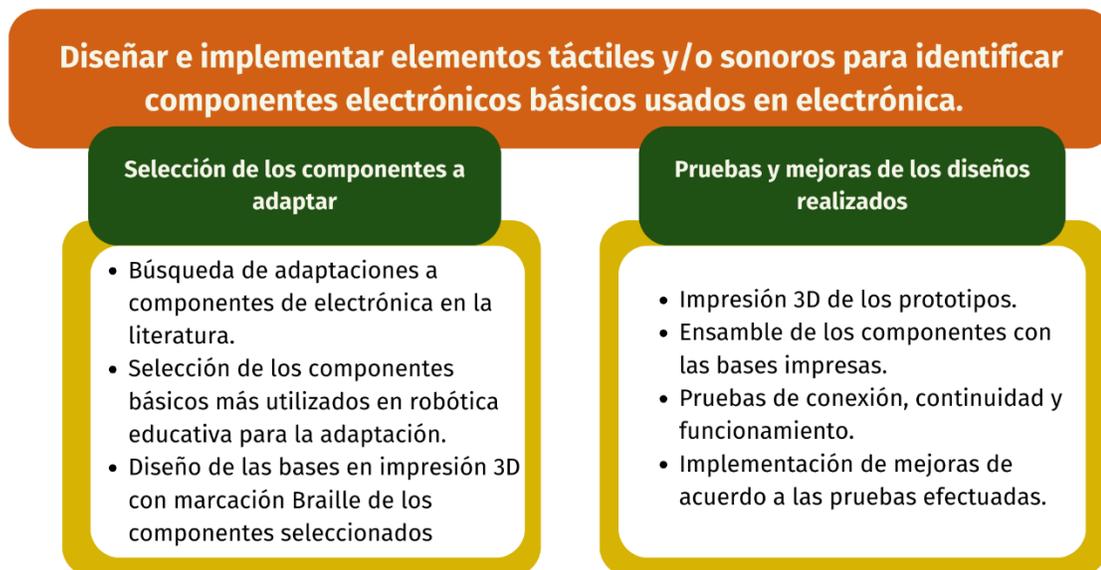


Fig. 1. Primera parte de la metodología.

Posteriormente, para poner a prueba las adaptaciones y dar solución al objetivo específico dos, se siguió la metodología mostrada en la Fig. 2, inicialmente, se realizaron pruebas con un pequeño grupo voluntario, quienes evaluaron las adaptaciones en términos hápticos y de braille,

con las observaciones realizadas por ellos se realizaron mejoras, para posteriormente implementar el curso diseñado de electrónica básica con personas con discapacidad visual, estas personas no eran exclusivamente ciegas totales sino también con baja visión. Al finalizar las actividades se realizaron entrevistas para llevar un registro sobre la efectividad y aceptación de las adaptaciones realizadas por parte de esta población.



Fig. 2. Segunda parte de la metodología.

Finalmente, para abordar el tercer objetivo específico, en la Fig. 3 se muestra el bloque con la metodología seguida, en este punto se desarrolló material en formato audiovisual, ya que no todas las personas con discapacidad visual manejan en lenguaje braille, sin embargo, también se realizó el mismo material en un software de braille para la posible impresión de este material y que las personas interesadas puedan acceder al kit desarrollado.

Por otro lado, finalizando este proyecto, se notó un gran interés de las personas por seguir aprendiendo de robótica, por esto se desarrolló también un prototipo que permita a las personas con discapacidad visual realizar programación básica de un robot, para esto se realizó el diseño 3D de un teclado que permita programar las instrucciones fácilmente, y que se conecta por medio de Bluetooth al robot para que este ejecute los comandos programados, para esto se usó Arduino y Python.

Diseñar material didáctico educativo en lenguaje braille y formato de audio para validar el funcionamiento del kit de herramientas para electrónica.

Material didáctico para el kit de electrónica educativa para personas con discapacidad visual

- Construcción de material didáctico para las personas que deseen implementar las adaptaciones y que puedan replicar este trabajo.
- Implementación de material complementario en lenguaje Braille y audios descriptivos

Fig. 3. Tercera parte de la metodología

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el aprendizaje de la robótica y la electrónica existen diversos componentes que son ampliamente utilizados, en una revisión de las diferentes actividades que se realizan en la Biblioteca EPM, se encuentra que para los cursos de electrónica básica los componentes que más se implementan son el LED, el buzzer, las resistencias, los capacitores, transistores y circuitos integrados como el 555.

En estos componentes se evidencian varias dificultades para las personas con discapacidad visual, puesto que son muy pequeños y en general la forma de reconocer su valor o polaridad está determinada por colores o características visuales.

Para mejorar la accesibilidad de las personas con discapacidad visual a estos cursos de electrónica, se plantea la propuesta de realizar bases impresas en 3D para cada uno de estos componentes con marcación braille [12], de modo que las personas puedan identificar con sus manos los nombres, valores y polaridad de los componentes utilizados.

Bases impresas en 3D

Inicialmente utilizando el software Tinkercad [13], el cual está disponible en línea y sin necesidad de licencia, se realiza el diseño de las bases de algunos de los componentes, primero, se realizó el diseño de la base para el LED que se puede observar en la Fig. 5, el cual, a pesar de su característica netamente visual, puede ser utilizado con personas con baja visión, además de ser uno de los componentes más utilizados en la electrónica.

La base consta de dos niveles, uno donde se inserta el led y otro donde está la marcación braille, en la parte derecha dice “led”, tiene dos canales por los que se llevan las terminales del LED y con cable se realiza la conexión a dos tornillos, al lado de cada tornillo se encuentra escrito en braille los símbolos “+” y “-” respectivamente para que el usuario pueda identificar la polaridad de este, en la Fig. 4 se muestran estos dos símbolos en braille, ya que serán utilizados a lo largo de este trabajo.

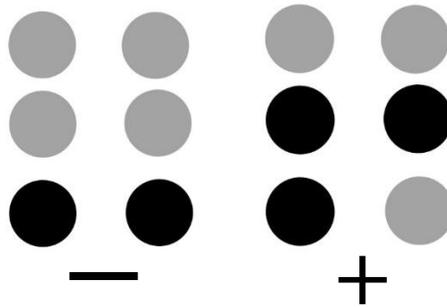


Fig. 4. Símbolos en braille de negativo y positivo.

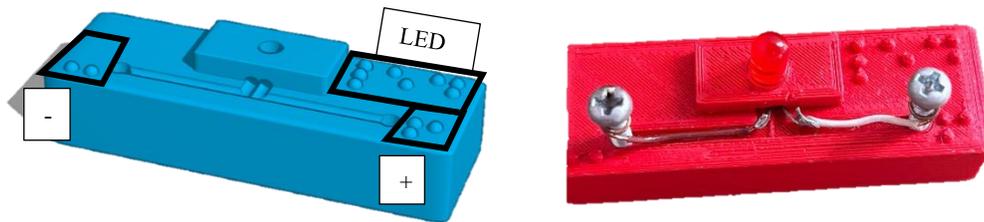


Fig. 5. Base con marcación braille para LED

Para realizar el montaje de un circuito básico y comprobar el funcionamiento correcto de las bases se realizó el diseño de la base para una resistencia de 330Ω y una batería de 9V, poniendo en cada una el nombre en braille, el valor y la polaridad para la batería. Además, para la resistencia, procurando mantener el código de colores se buscó una alternativa para ser utilizada de forma que la persona con discapacidad visual no tenga que depender de otra persona que le indique el valor y tampoco tener el valor marcado numéricamente, esto con el fin de poder conocer la referencia de color sin la necesidad de ayudas externas.

En la búsqueda realizada se encontró un código de colores gráfico, llamado ColorADD [14], mostrado en la Fig. 6, que se utiliza para las personas que tienen daltonismo, lo que se hizo fue utilizar este código y adaptarlo a la impresión 3D, de modo que quede en relieve y la persona con discapacidad visual pueda identificar por sí misma el valor de la resistencia, se imprimió una cartilla en relieve con el código y con el nombre en braille, para enseñar a las personas este código, el diseño se puede observar en la Fig. 7.

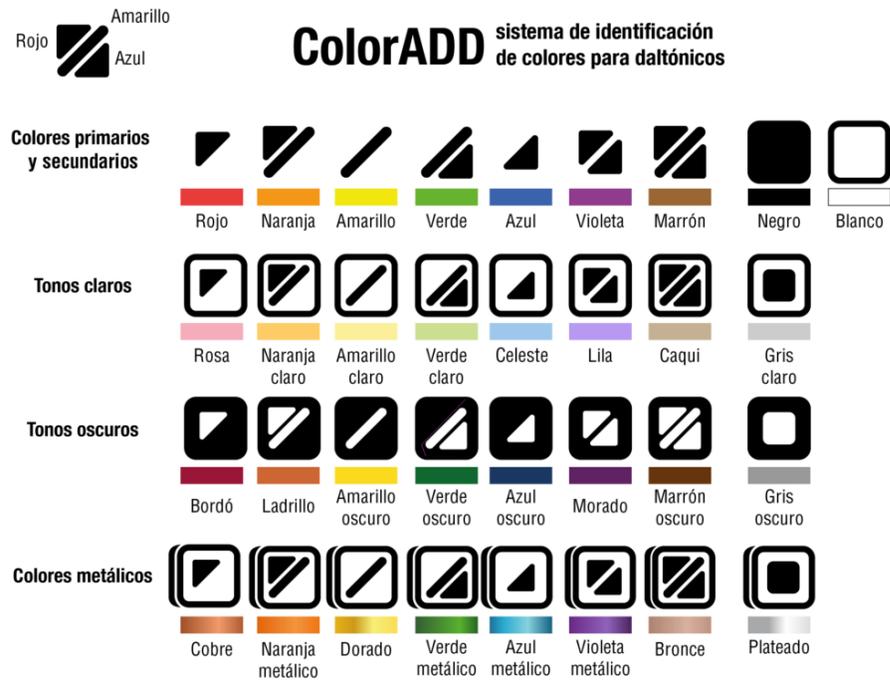


Fig. 6. ColorADD.

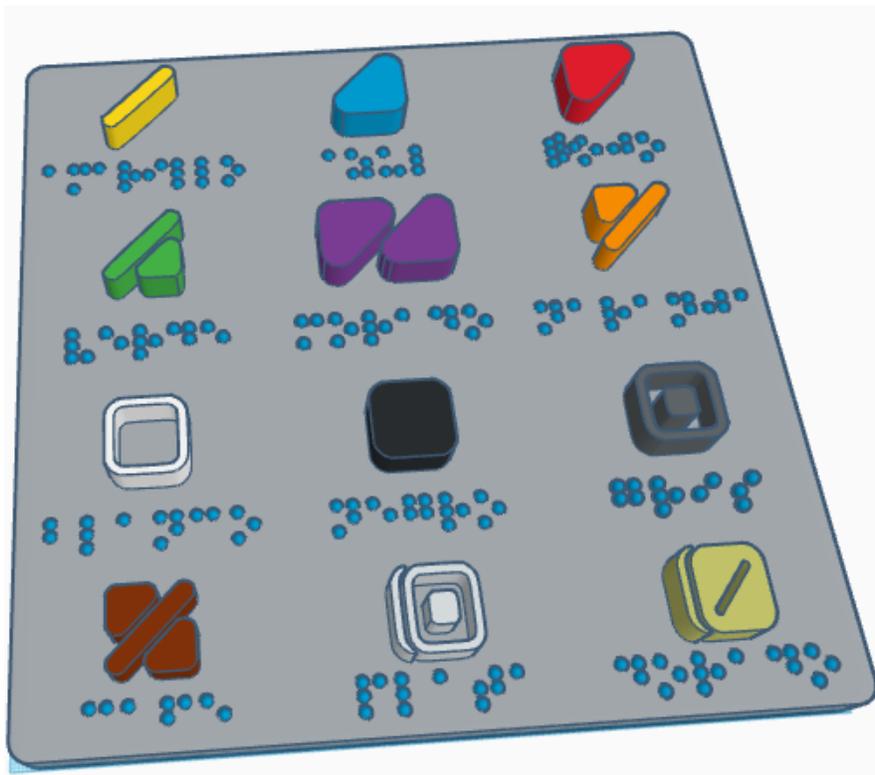


Fig. 7. Cartilla con el código de colores en 3D.

La base de la resistencia, la cual se puede observar en la Fig. 8, posee un canal por el cual se pone la resistencia, la marcación con el código ColorADD y el nombre, en las terminales al no poseer polaridad se marcó como “#1” y “#2”, para la base de la batería 9V, que se puede observar en la Fig. 9, se realiza un agujero en el cual se pone el portabaterías, se pone el nombre en braille y el valor de la batería, además, cada terminal se marcó con los símbolos “+” y “-”.

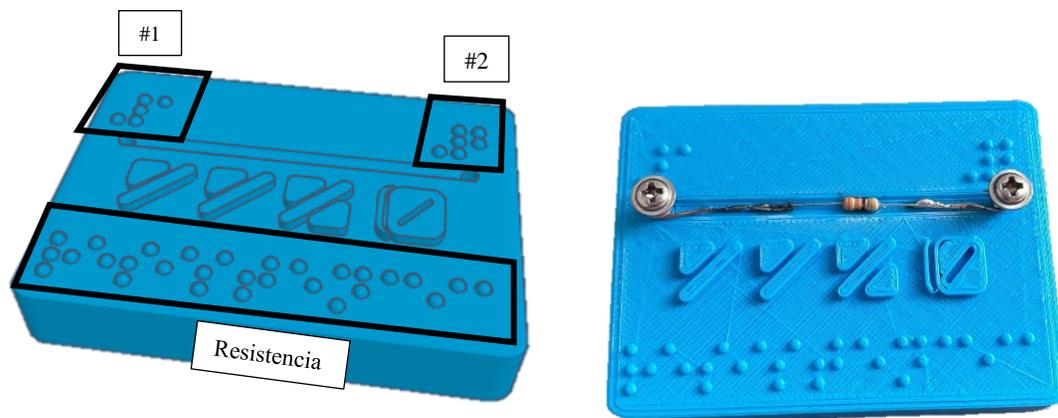


Fig. 8. Base con marcación braille para resistencia de 330 ohm.



Fig. 9. Base con marcación braille par batería 9V.

La prueba inicial con estos tres componentes fue satisfactoria, al conectarlos por medio de cables tipo caimán el LED funcionó como se esperaba, en la Fig. 10 se puede observar el circuito, en esta prueba no se evaluó la accesibilidad con personas con discapacidad visual, solo el funcionamiento y continuidad en los componentes. Para reemplazar el LED para la población con

ceguera total, se diseñó una base para el buzzer y para un potenciómetro, mostrados en las Fig. 11 y Fig. 12, de forma que la persona que lo use pueda usarlo como perilla de volumen.

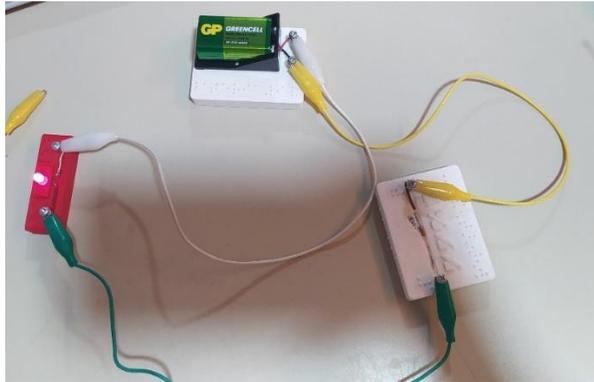


Fig. 10. Circuito de prueba con LED.



Fig. 11. Base con marcación braille para buzzer.



Fig. 12. Base con marcación braille para potenciómetro.

Para poner a prueba las adaptaciones desarrolladas se realizó una búsqueda de un circuito con una complejidad media, en una revisión de ideas se encontró uno que implementa el

amplificador operacional LM386 [15], con capacitores, resistencias y potenciómetro. El listado de componentes se muestra en la TABLA I, y el esquemático del circuito se presenta en la Fig. 13 [16], los diseños en Tinkercad de cada una de las bases desarrolladas se encuentran en el anexo A.

TABLA I
LISTA DE COMPONENTES PARA CIRCUITO AMPLIFICADOR

Componente	Valor
Capacitor electrolítico	10 μ F
	220 μ F
Resistencia	10 Ω
Capacitor cerámico	0,1 μ F
Potenciómetro	10K Ω
Batería	9V
Bocina	8 Ω
Jack 3.5	--

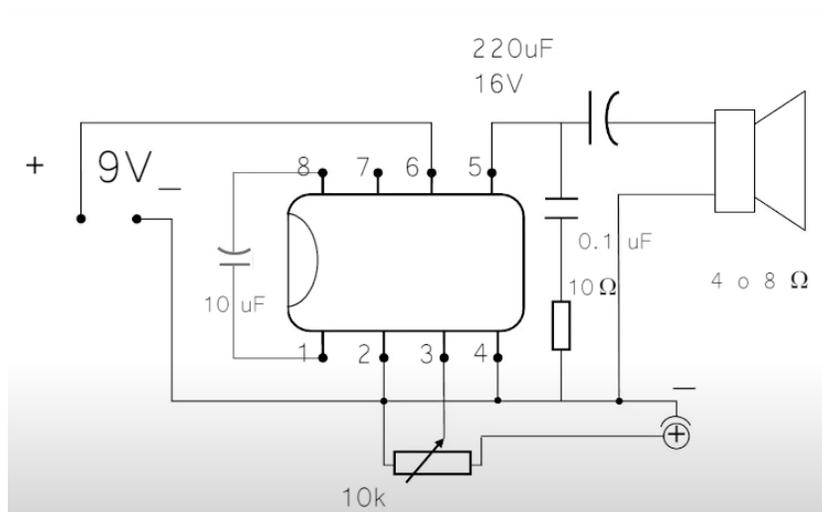


Fig. 13. Esquemático circuito amplificador de audio.

Para la implementación de este circuito con la solución propuesta en este proyecto se diseñaron e imprimieron en 3D las diferentes bases de los componentes siguiendo la estructura ya establecida, donde cada base tiene marcado el nombre del componente en braille y la polaridad en

los casos donde sea necesario, en las Fig. 14, Fig. 15, Fig. 16, Fig. 17, Fig. 18 y Fig. 19 se puede observar las bases de la resistencia, capacitores y bocina.

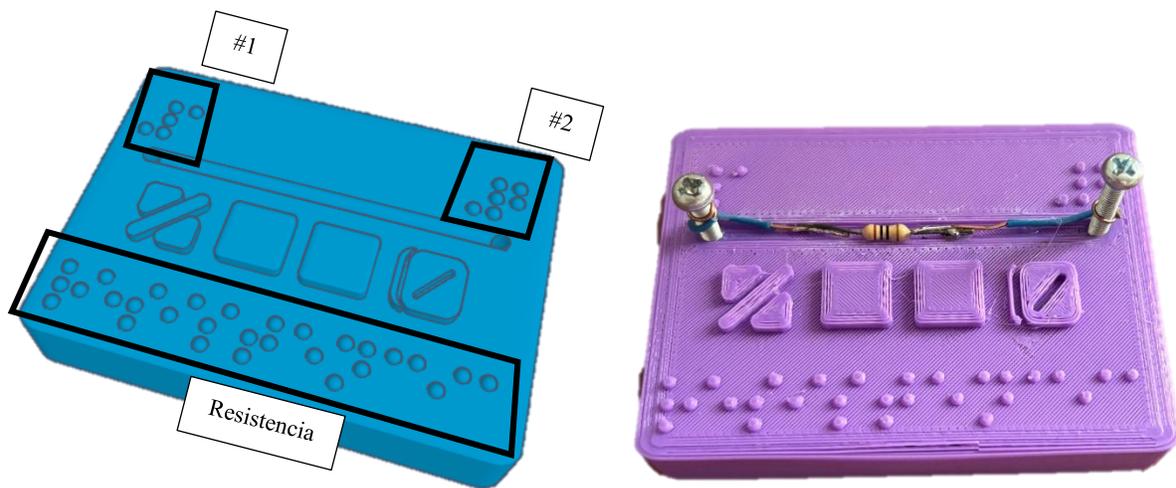


Fig. 14. Base con marcación braille para resistencia de 10 ohm.

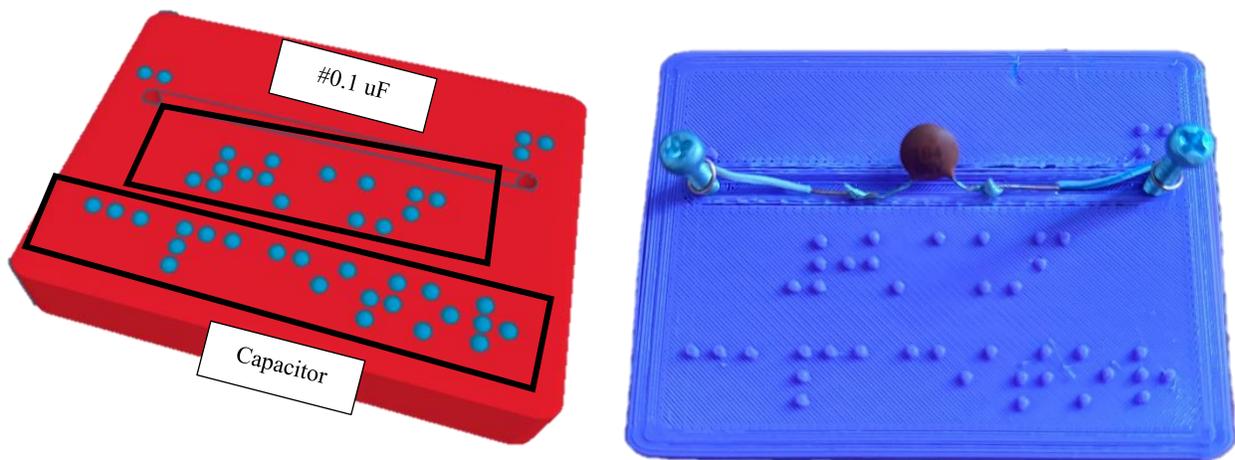


Fig. 15. Base con marcación braille para capacitor de 0.1uF.



Fig. 16. Base con marcación braille para capacitor electrolítico de 10uF.



Fig. 17. Base con marcación braille para capacitor electrolítico de 220uF.



Fig. 18. Base con marcación braille para bocina.

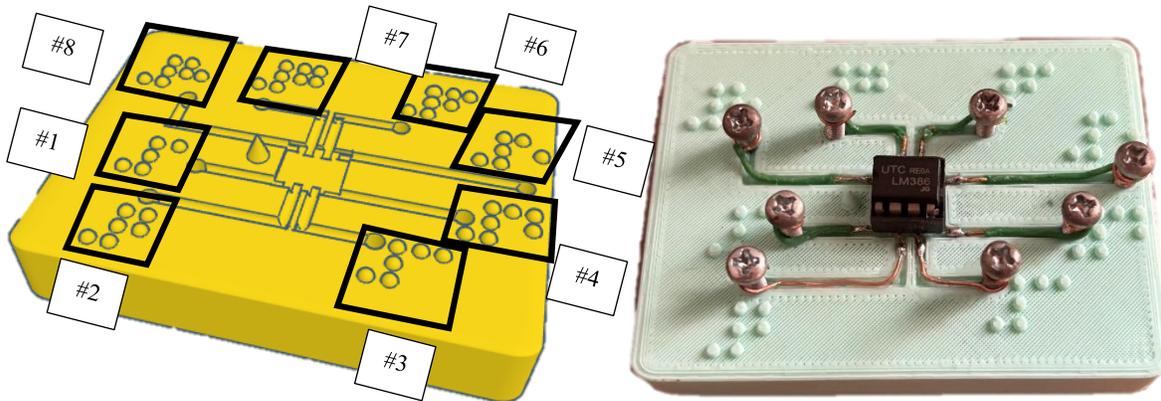


Fig. 19. Base con marcación braille para amplificador operacional.

Con las bases impresas y los componentes ensamblados, se realizó la construcción del circuito propuesto, al realizar el montaje completo se encuentra que este tiene problemas de funcionamiento, ya que no se escucha nada o en ocasiones solo hay un ruido, pero no se amplifica el sonido como se esperaba, al realizar una revisión de los componentes en la continuidad y su funcionamiento en circuitos más simples, se llegó a la conclusión de que al tener tantos cables y tornillos, estos aumentan mucho la impedancia y no permiten el correcto funcionamiento de este circuito.

Protoboard pequeña con marcación táctil

Para solucionar el problema encontrado con las bases desarrolladas, se buscó la forma de hacer que la Protoboard o placa de pruebas fuese más accesible, ya que en experiencias previas con la población ciega se encontró que esta es difícil de manipular para ellos, ya que los agujeros están muy cerca unos de otros y se les dificulta identificar los nodos, a pesar de que los agujeros se identifican de forma háptica, después de tener diferentes componentes conectados las personas con discapacidad no logran diferenciar una línea de agujeros (nodo) de otra que esté muy cercana y esto lleva a problemas de conexión y continuidad.

De acuerdo con lo anterior, se realizó la adaptación de una Protoboard pequeña, buscando el archivo STL en línea y gratuito para realizar las modificaciones necesarias [17], inicialmente, se utilizó Tinkercad [13] como en el caso de las bases; sin embargo, esta herramienta presenta muchas limitaciones. Por este motivo, se empleó el programa Fusion 360 [18], también de la empresa Autodesk, al cual se tiene acceso gratuito mediante la licencia de estudiante vinculada al correo de la Universidad de Antioquia.

Las modificaciones realizadas a la Protoboard se muestran en la Fig. 20 y el enlace al diseño en formato STL se encuentra en el anexo A. Estas modificaciones consistieron en realizar un relleno a los agujeros que trae la Protoboard de manera alternada y reemplazarlos por puntos en relieve, es decir, al lado de cada línea de agujeros o nodo se encuentra una línea de puntos táctiles, lo que permite a las personas con discapacidad visual usar estos puntos como guía en la Protoboard y reconocer que al lado de cada punto encuentra un agujero donde podrá realizar conexiones, esto se puede observar en el recuadro negro, donde las x de color rojo corresponden a agujeros.

Para permitir el uso de esta Protoboard con amplificadores operacionales o circuitos integrados, en las ocho líneas centrales, los agujeros no se rellenaron de la misma manera, se dejaron los ocho agujeros de la línea central de cada lado disponibles, mientras que en los demás nodos se taparon agujeros de manera alternada (ver recuadro amarillo), dejando solo tres agujeros disponibles por nodo. Para las líneas de tensión, se conservó solo una en la parte inferior y otra en la superior, estas se marcaron con los símbolos en braille de positivo y negativo, mostrados anteriormente.

Finalmente, para realizar las conexiones internas, la Protoboard tiene en la parte inferior canales diseñados para introducir las placas metálicas que traen estas de fábrica, para esto se reutilizaron algunas Protoboard desechadas de la Biblioteca EPM, a las cuales se les extrajeron las placas y se insertaron en las desarrolladas. Durante este proceso, se observó que el uso de diferentes impresoras 3D generaba acabados variables y diferentes tolerancias. En las primeras versiones impresas, los agujeros resultaron demasiado estrechos y con detalles que impedían una buena conexión. Este problema se solucionó ajustando los parámetros en el software de segmentación, mejorando la calidad de impresión a pesar de aumentar el tiempo de producción.

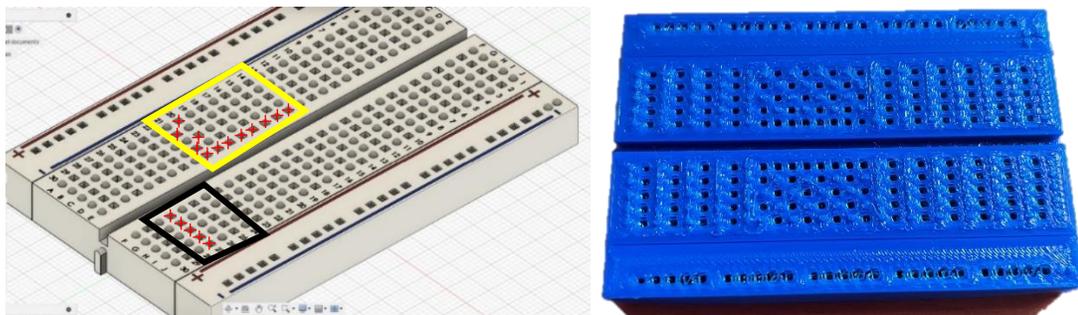


Fig. 20. Protoboard pequeña adaptada.

Una vez se ensambló la Protoboard se realizaron pruebas de conexión y continuidad con circuitos simples y multímetro. Los resultados de las pruebas fueron satisfactorias y la Protoboard desarrollada funcionó como se esperaba, sin embargo, las pruebas con el circuito amplificador que se esperaba montar no fueron satisfactorias.

Curso en la Biblioteca EPM con personas ciegas y muestra en una fundación

Para poner a prueba las adaptaciones desarrolladas se evalúa la usabilidad y accesibilidad con dos grupos de personas con discapacidad visual, el primer grupo perteneciente a la Fundación Ángel de Luz, los cuales participaron de una muestra de los elementos desarrollados, en esta actividad se evaluó el braille y la facilidad con la cual personas, sin ningún conocimiento previo de electrónica, pudieran construir un circuito básico usando las bases desarrolladas.

Inicialmente, participó una persona que ya había estado en un curso de electrónica básica con la Biblioteca EPM, se realizó un análisis de los conocimientos de ese curso y se le pidió realizar dos circuitos, uno utilizando el LED, la batería y la resistencia de 330Ω , en este caso, como la persona no conoce el código de ColorADD utilizado [14], se le enseña primero pidiéndole que toque la placa e identifique los cuatro símbolos que corresponden a los colores, la persona participante expresa que es claro y realiza la conexión de los tres componentes sin problema utilizando cables tipo caimán, el otro circuito fue utilizando el buzzer y el potenciómetro como control de volumen, en la Fig. 21 se puede observar a la participante armando el circuito.



Fig. 21. Participante de la muestra con los componentes adaptados.

Posteriormente, se realizó la actividad con dos personas que no habían tenido nunca contacto con la electrónica. Ellas fueron las encargadas de evaluar el braille en cada una de las bases desarrolladas. Ambas informaron que el braille estaba bien escrito en todas las bases, que los

símbolos de positivo y negativo eran claros y el código de colores de las resistencias resultaba fácil de comprender tras una breve explicación, sin embargo, hicieron una recomendación base del buzzer, ya que el símbolo negativo en braille está muy cerca de la palabra, lo que hace que podría generar confusión, especialmente si no hay una persona que pueda realizar la explicación de lo que se encuentra en la base.

De las tres personas que participaron una tenía baja visión y tenía conocimientos básicos en braille, ya que no es una persona ciega de nacimiento sino que por una enfermedad ha ido perdiendo la visión, las otras dos personas era ciegas totales, con amplios conocimientos en braille y por esto fueron quienes realizaron la evaluación del braille en las bases, estos dos últimos también realizaron el montaje del circuito básico con el buzzer, el potenciómetro y la batería usando cables tipo caimán, de acuerdo con ellos esta fue una adaptación muy interesante, pues les permitió manipular de una mejor forma los componentes, en la Fig. 22 se muestra a los dos participantes ciegos interactuando con las bases desarrolladas.



Fig. 22. Dos participantes con las bases desarrolladas.

El segundo grupo, fueron personas con discapacidad visual que se inscribieron por medio de convocatoria al público de la Biblioteca EPM, el curso se ejecutó con aproximadamente 4 personas, los participantes llenaron un consentimiento informado que se encuentra en el anexo B y el diseño metodológico del curso se presenta en el anexo C.

El curso se realizó siguiendo el diseño metodológico, en la primera sesión se realizó una actividad de presentación para conocer a los participantes, su nivel de discapacidad y se preguntó por qué se interesaron en el curso, en esta parte de la actividad, algunos de ellos manifestaron tener baja visión y no tenían conocimientos en braille, ellos estaban más familiarizados con el alfabeto

en español y los símbolos utilizados por las personas sin discapacidad visual. Ante esta situación, se les explicó los dos símbolos para positivo y negativos que están en todas las bases, los nombres y valores de los componentes fueron explicados de forma verbal, la parte final de esta sesión consistió en familiarizarse con los componentes, pero sin realizar conexiones aún.

En el siguiente encuentro, se realiza el montaje de dos circuitos básicos utilizando el LED, el buzzer, la resistencia, la batería y el potenciómetro, uno de los participantes que si maneja el braille logra leer e identificar cada uno de los componentes, a los demás se les explica que dice en cada uno y a que corresponde cada componente, cada uno realiza el montaje de los dos circuitos básicos que se han realizado.

Para la tercera sesión, se introduce la Protoboard desarrollada, se explica el concepto de nodo y cómo funciona la placa, se realiza el montaje de estos dos circuitos que se han venido trabajando, pero utilizando los componentes comerciales, es decir, sin adaptar, y la Protoboard diseñada, en esta prueba se nota una correcta implementación de la Protoboard, todos los participantes montan el circuito sin ayuda y todos funcionaron. Se finaliza la sesión hablando sobre el amplificador operacional y mostrando la base desarrollada para este.

En el último encuentro con las personas con discapacidad visual, se imprimió una constancia de asistencia dada por la Biblioteca EPM como reconocimiento a las personas por su participación. Para la actividad se realizó el montaje de un circuito que implementa un transistor 2N2222A [19], con dos resistencias y un buzzer, el circuito es un sensor de nivel, mostrado en la Fig. 23, una versión “casera” de un dispositivo que se comercializa para las personas con discapacidad visual para que puedan servirse sus propias bebidas, cuando el agua o el líquido entra en contacto con las dos terminales cierra el circuito y emite un sonido [20].

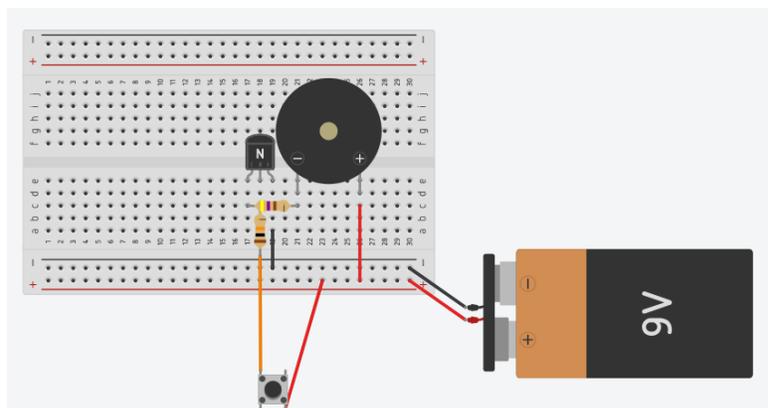


Fig. 23. Circuito detector de nivel.

Todos los participantes lograron realizar el montaje del circuito en la Protoboard desarrollada de manera exitosa, en la Fig. 24 se muestran algunas fotografías del desarrollo del curso.



Fig. 24. Fotos de los participantes del curso en la Biblioteca EPM.

Material didáctico educativo

Para facilitar el uso del kit desarrollado, se elaboró material didáctico que permita a las personas utilizarlo y validar su funcionamiento, una parte del material está en braille, el cual se encuentra en el anexo D y se muestra en la Fig. 25, siendo este formato el que menos interés generó debido a lo encontrado con el grupo de trabajo donde se descubrió que no todas las personas con discapacidad visual usan el braille. Por otro lado, el material más robusto está en formato audiovisual presentado en el anexo E y mostrado en la Fig. 26, de forma que permita a las personas interesadas con o sin discapacidad visual utilizar el kit desarrollado.

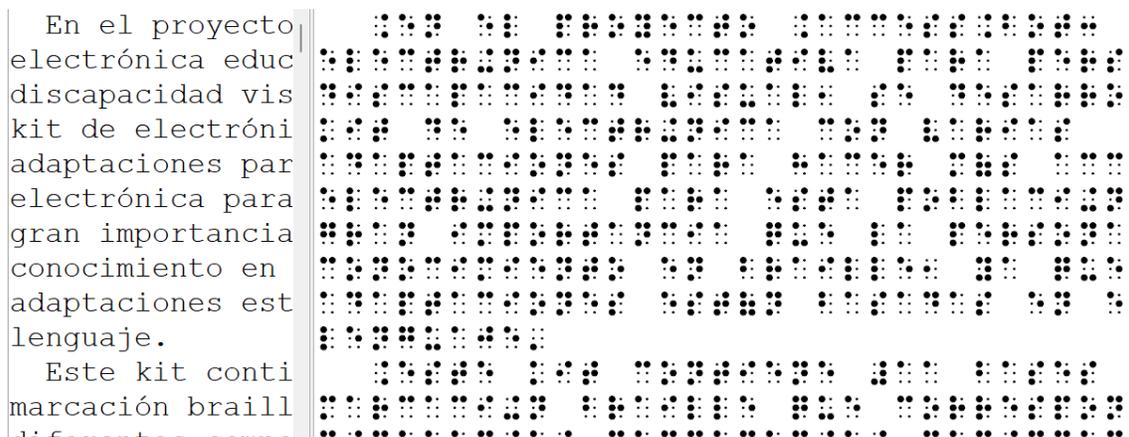


Fig. 25. Material didáctico en braille.



AccessBot: Electrónica educativa para personas con discapacidad visual

Fig. 26. Captura de pantalla del material audiovisual ([video](#)).

Programación con personas con discapacidad visual.

Finalizando el proyecto, surgió la idea de realizar una prueba de programación accesible, donde las personas con discapacidad visual puedan adentrarse en el campo de la programación, de esta manera poder abrir más las posibilidades educativas y laborales de esta población.

Para esto se comenzó el desarrollo de una interfaz física con Arduino para programar los movimientos de un robot, esta funciona como un teclado externo el cual posee seis botones, cuatro que corresponden a las direcciones: adelante, atrás, izquierda y derecha, uno de espera y otro de ejecutar, la función de este teclado es mandar las instrucciones de movimiento o espera que la persona ciega desee que el robot realice, estas instrucciones se envían a través de módulos Bluetooth HC-05 configurados como maestro y esclavo, los códigos de funcionamiento de los dos Arduino se encuentran en el anexo F, en pantalla se va mostrando lo que la persona va programando y se reproduce el sonido correspondiente al botón, esto a través de una interfaz gráfica en Python la cual se muestra en la Fig. 28, el código se encuentra en el anexo G, al presionar el botón ejecutar se manda este código al Arduino del robot y este realiza los movimientos programados. La interfaz física se diseñó en 3D utilizando marcación braille y flechas en relieve en cada una de las direcciones para que de esta manera las personas con baja visión o ciegas totales puedan utilizarlo, en la Fig. 27 se muestra el diseño.

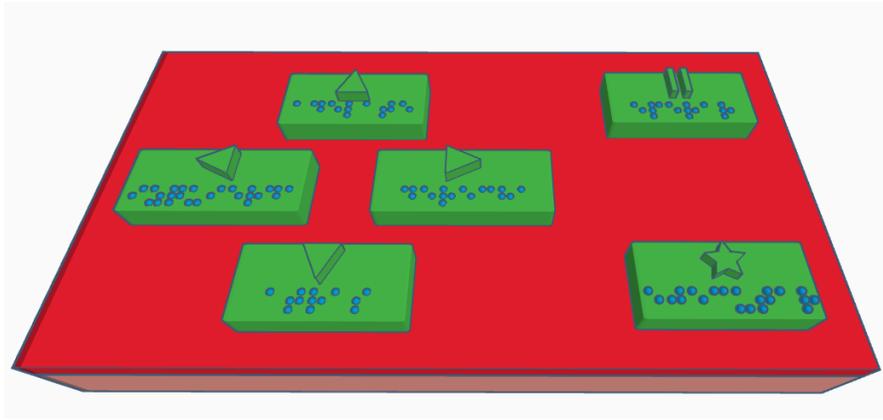


Fig. 27. Diseño del teclado para programación con personas ciegas.

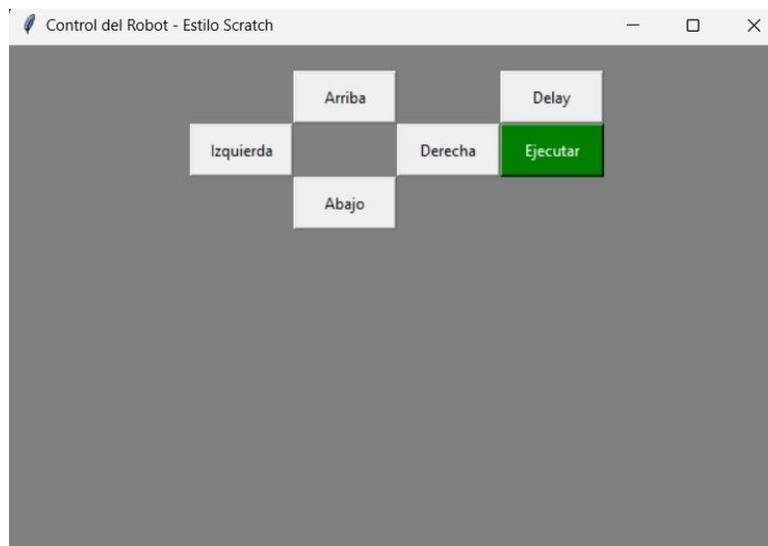


Fig. 28. Interfaz gráfica con Python.

Los resultados obtenidos muestran claramente que el proyecto fue apropiado y pertinente tanto para la Fundación EPM y la Universidad de Antioquia, puesto que ambas instituciones se encuentran alineados con la Agenda 2030 y los objetivos de desarrollo sostenible, además, las dos buscan ampliar cada vez más el público que impactan, buscando reducir las brechas siendo más accesibles.

De acuerdo con lo realizado en este proyecto, el diseño de las bases para los componentes fue satisfactorio, es importante tener en cuenta los parámetros que se establezcan para la impresión, pues el braille marcado en ellas debe tener un buen acabado para que sea legible, por otro lado, estas bases son una muy buena alternativa para un acercamiento inicial a los componentes y

conocer de forma teórica su funcionamiento, también funcionan muy bien para circuitos iniciales o básicos que se realicen en el aprendizaje de la electrónica ya que cuando se usan muchos componentes, especialmente los circuitos integrados o amplificadores operacionales, los tornillos y cables tipo caimán que se deben utilizar introducen una gran cantidad de ruido, impidiendo su correcto funcionamiento.

El desarrollo de la Protoboard fue muy apropiado, puesto que es uno de los componentes que más se utilizan en la electrónica y es importante comprender su uso y funcionamiento cuando se empieza a trabajar en esta área.

Para la impresión de la Protoboard es importante tener en cuenta la tolerancia de la impresora 3D para evitar errores, además, es vital que la impresión sea en la mejor calidad posible para que las marcas táctiles sean fácilmente apreciables.

El uso de todos los componentes por parte de las personas con discapacidad visual fue fácil y se garantizó la accesibilidad, el braille fue adecuadamente implementado así como el código de colores y las demás marcas usadas para que las personas usaron el kit, durante el curso realizado en la Biblioteca EPM y en la muestra que se realizó en la Fundación Ángel del Luz, las personas manifestaron que les parecieron adecuadas las adaptaciones, que fue claro el contenido y se sintieron cómodas con este kit.

Las personas con discapacidad visual que participaron fueron de diversas edades, sorprendió incluso que hubo personas adultas que estaban muy interesadas en estos temas, a pesar de que algunas de las personas con discapacidad visual tenían baja visión y por ende no conocían ampliamente el braille pudieron utilizar las bases y la Protoboard sin problemas, sin embargo, sería muy interesante incluir en las bases las palabras en español, de esta manera, tanto las personas con baja visión como las personas ciegas con conocimientos en braille podrán utilizar el kit sin problemas.

El material didáctico en formato audiovisual se puso a prueba durante los encuentros del curso con las personas con discapacidad visual, mostró ser un recurso muy útil, ya que contiene la información sobre el kit necesaria para su uso e implementación, al utilizar los dos formatos, tanto el braille como el audiovisual se garantiza una mayor accesibilidad y permite la replicabilidad de lo realizado en este proyecto para que las personas con discapacidad visual puedan acceder cada vez más a temas relacionados con la tecnología, electrónica y robótica.

Finalmente, aunque no estaba contemplado dentro de los objetivos originales de este proyecto, en la Biblioteca EPM, se está en la constante búsqueda de incluir a las personas con discapacidad en las diferentes actividades que se desarrollan, por esto, se propuso implementar una adaptación que permita a las personas con discapacidad visual acceder a la programación. Se desarrolló una alternativa para la programación con Arduino, realizando la conexión Bluetooth entre dos de estos dispositivos, donde uno actúa como robot y el otro hace las veces de teclado para programar, al presionar alguna de las teclas se envía el comando al computador y el robot realiza los movimientos programados cuando se presione el botón ejecutar, esta parte del proyecto no pudo ser probada con personas con discapacidad visual, sin embargo, sienta un precedente para que se sigan desarrollando soluciones de accesibilidad en este ámbito.

IX. CONCLUSIONES

Este proyecto tuvo como objetivo desarrollar un kit de electrónica educativa que permita a las personas con discapacidad visual acceder a cursos de este tema, haciendo que los materiales y componentes sean más accesibles y les de mayor autonomía, se puede decir que en este sentido, el trabajo fue exitoso, ya que el kit pudo ser desarrollado y las personas que participaron en el curso de electrónica lograron realizar todas las actividades de forma autónoma siguiendo las instrucciones, además, se logró el objetivo de aprendizaje del diseño metodológico el cual era *“Entender y aplicar los conceptos básicos de la electrónica, construyendo circuitos simples y comprendiendo el funcionamiento de componentes electrónicos clave.”* Lo cual de acuerdo con los resultados finales se cumplió de forma satisfactoria.

De acuerdo con los testimonios de las personas que participaron de este proyecto, las soluciones aportadas fueron de gran ayuda y permitieron que cada uno pudiera desarrollar las actividades propuestas, valoraron especialmente las adaptaciones táctiles que permitieron que ellos comprendieran y pudieran manipular los componentes, así como la forma de conexión por medio de cables tipo caimán, los cuales facilitaron esta tarea.

Es importante resaltar que para el uso de las bases que componen el kit las personas deben conocer el lenguaje braille, ya que este es la base de la adaptación realizada, además, para bases como las de las resistencias que contienen el código de colores adaptado de ColorADD [14] es importante primero hacer un acercamiento a este por medio de la cartilla diseñada donde se encuentran los colores con su respectivo equivalente del código.

El material didáctico desarrollado es una herramienta complementaria que permitirá que las personas que se encuentren interesadas en utilizar o replicar este kit puedan hacer con mayor facilidad, garantizando, además, que las personas con discapacidad visual puedan acceder a esta información al estar en lenguaje braille y en formato audiovisual.

Finalmente, la posibilidad de desarrollar soluciones para el aprendizaje de la programación para este tipo de población ofrece una gran oportunidad tanto para ellos como para instituciones como la Universidad de Antioquia o la Fundación EPM, quienes están en la búsqueda constante de ofrecer educación de calidad y accesible para todos, en este sentido, lo que se logró avanzar en este proyecto para incluir a las personas con discapacidad visual en este ámbito puede sentar un

precedente para continuar por este camino buscando derribar las barreras existentes para las personas con discapacidad visual.

X. RECOMENDACIONES

Para un posible trabajo a futuro se recomienda implementar bases con marcación braille para otros componentes de electrónica no incluidos en este trabajo, así como la posible implementación de la Protoboard grande con la adaptación táctil diseñada, por otro lado, para esta sería interesante poder fabricarla con otro método, por ejemplo, desarrollando una placa para inyección que permita producir la Protoboard de forma masiva lo cual posiblemente disminuya costos de producción, garantice homogeneidad en estas, reduciendo errores, además, permitiría la comercialización de esta para las personas con discapacidad visual que estén interesadas en estudiar carreras o hacer cursos relacionados con la electrónica.

En cuanto a la programación para personas con discapacidad visual, en este proyecto se plantea un precedente, el cual se puede mejorar a futuro y realizar pruebas con personas ciegas para evaluar su usabilidad y accesibilidad.

X REFERENCIAS

- [1] Organización Mundial de la Salud, «www.who.int,» Organización Mundial de la Salud, 10 agosto 2023. [En línea]. Available: <https://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/blindness-and-visual-impairment>. [Último acceso: 4 septiembre 2024].
- [2] DANE, «www.dane.gov.co,» 2022. [En línea]. Available: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/notas-estadisticas/abr_2022_nota_estadistica_Estado%20actual_de_la_medici%C3%B3n_de_discapacidad_en%20Colombia.pdf. [Último acceso: 4 septiembre 2024].
- [3] L. M. Rojas, N. Arboleda y P. Leidy, «Caracterización de población con discapacidad visual, auditiva, de habla y motora para su vinculación a programas de pregrado a distancia de una universidad de Colombia,» *Educare [online]*, vol. 22, n° 1, pp. 97-124, 2018.
- [4] N. F. Molina Sáenz, «Reducción de las desigualdades - Universidad de Antioquia,» 12 11 2019. [En línea]. Available: https://udea.edu.co/wps/portal/udea/web/inicio/udea-noticias/udea-noticia!/ut/p/z1/xVVbT8IwFP4r8sDj0sPabfVxIkIQuejGpS-mbAWq7AIMUH-9XTQxQsYwpLEP7Wnzne9cepIPMTRGLOY7OeeZTGK-VPcJs5_pdd2suQQ6YBMbXLtPLMdsYm8IaHQAuK9Z4A4a_a7Xq_dv2yZixf6Da_ztDwXLhfP8TwDY6fyHiCEW. [Último acceso: 4 septiembre 2024].
- [5] J. Damasio Oliveira, M. de Borba Campos, A. de Morais y I. H. Manssour, «Teaching robot programming activities for visually impaired students: A systematic review,» *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, Springer Verlag, pp. 155-167, 2017.
- [6] M. Hamash y H. Mohamed, «BASAER Team: The First Arabic Robot Team for Building the Capacities of Visually Impaired Students to Build and Program Robots,» *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, vol. 16, n° 24, pp. 91-107, 2021.
- [7] V. Stehling, K. Schuster, A. Richert y S. Jeschke, «Access all areas: Designing a hands-on robotics course for visually impaired high school students,» *Communications in Computer and Information Science*, Springer Verlag, pp. 430-435, 2015.

-
- [8] F. Lombardo Evangelista y S. d. s. Stenio, «ATIVIDADES EXPERIMENTAIS DE ELETRODINÂMICA CONSTRUÍDAS POR ALUNOS COM DEFICIÊNCIA VISUAL,» *Revista Prática Docente*, vol. 6, nº 1, p. 10, 2021.
- [9] J. U. a. W. T.-Y. a. S. B. a. L. H. a. P. A. a. W. E. a. Y. X.-D. Davis, «TangibleCircuits: An Interactive 3D Printed Circuit Education Tool for People with Visual Impairments,» de *CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '20)*, New York, USA, 2020.
- [10] D. A. P. A. & A. F. Aldana, «Prototipo electrónico BlindTI como herramienta de aprendizaje para niños en condición de discapacidad,» *Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información*, vol. 48, pp. 1-20, 2022.
- [11] M. H. A. Omoush y T. Mehigan, «Leveraging Robotics to Enhance Accessibility and Engagement in Mathematics Education for Vision-Impaired Students,» *5th International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA)*, pp. 1-6, 2023.
- [12] dimora, «Colombia Aprende,» Colombia Aprende, 30 Diciembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.colombiaaprende.edu.co/agenda/actualidad/dia-mundial-del-braille-opportunidad-para-la-inclusion>. [Último acceso: 20 Marzo 2024].
- [13] Autodesk, «Tinkercad,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.tinkercad.com/>. [Último acceso: 2024].
- [14] ColorADD, «ColorADD,» [En línea]. Available: <https://www.coloradd.net/es>. [Último acceso: 27 03 2024].
- [15] Texas Instruments, «LM386 - Texas Instruments,» mayo 2004. [En línea]. Available: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm386.pdf>. [Último acceso: 9 marzo 2024].
- [16] YouTube, «YouTube,» Classesamida, 23 septiembre 2019. [En línea]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=bBBm29qnyjs&t=71s&ab_channel=classesamida. [Último acceso: 18 abril 2024].
- [17] GrabCad, «GrabCad - Protoboard 400,» UNIT Electronics, 23 octubre 2029. [En línea]. Available: <https://grabcad.com/library/protoboard-400-pts-1>. [Último acceso: 15 mayo 2024].

-
- [18] Autodesk, «Autodesk - Fusion 360,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.autodesk.com/latam/products/fusion-360/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>. [Último acceso: 2024].
- [19] NXP Semiconductors, «All Datasheets,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/download/15068/PHILIPS/2N2222A.html>. [Último acceso: 2024].
- [20] Asistronic, «Asistronic,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.asistronic.com/producto/indicador-de-nivel-de-liquido-para-ciegos/>. [Último acceso: 2024].

ANEXOS

Los siguientes anexos presentan los documentos de interés de este trabajo, tales como los enlaces para acceder a los diseños 3D de las bases adaptadas como de la Protoboard, además un ejemplo del consentimiento informado que firmaron los participantes y el diseño metodológico del curso. También se encuentra el material didáctico para el uso e implementación del kit de electrónica educativa.

Anexo A. Enlaces de los diseños 3D

Cada uno de los diseños realizados se presentan a continuación:

- Base con marcación braille del LED: <https://www.tinkercad.com/things/cRHcJbzR9z8-prototipo-1-led>
- Base con marcación braille de la batería de 9V: <https://www.tinkercad.com/things/fUcMISDXAPw-prototipo-2-bateria-9v>
- Base con marcación braille de la resistencia de 330Ω: <https://www.tinkercad.com/things/hn4FERq9vrA-prototipo-3-resistencia-330>
- Base con marcación braille de la resistencia de 10Ω: <https://www.tinkercad.com/things/cbr6BBSnhUG-prototipo-31-resistencia-10>
- Base con marcación braille del buzzer: <https://www.tinkercad.com/things/8e4PAOf8P4z-prototipo-4-buzzer>
- Base con marcación braille del amplificador operacional: <https://www.tinkercad.com/things/4C5ytTcyXgy-prototipo-5-operacional>
- Base con marcación braille del potenciómetro: <https://www.tinkercad.com/things/60QPxEkomaB-prototipo-6-potenciometro>
- Base con marcación braille del capacitor de 0.1μF: <https://www.tinkercad.com/things/OYXcI5FKd5j-prototipo-7-capacitor-01u>
- Base con marcación braille del capacitor electrolítico de 10μF: <https://www.tinkercad.com/things/ijpWVqimHtC-prototipo-71-capacitor-10u>
- Base con marcación braille del capacitor electrolítico de 220μF: <https://www.tinkercad.com/things/alArJvRzhXO-prototipo-72-capacitor-220u>
- Base con marcación braille de la bocina: <https://www.tinkercad.com/things/aj57sQ0Jog7-prototipo-8-bocina>
- Protoboard táctil: <https://www.thingiverse.com/thing:6761623>

*Anexo B. Consentimiento informado***Consentimiento Informado**

Título del Proyecto: AccessBot: Electrónica educativa para personas con discapacidad visual

Investigador Principal: Jessica Betancourt Puerta

Institución: Universidad de Antioquia

Contacto: jessica.betancourt@udea.edu.co

Descripción del Proyecto: La electrónica y la programación son áreas de las ciencias exactas e ingenierías con un gran potencial para el desarrollo tecnológico. Sin embargo, las personas con discapacidad visual enfrentan importantes dificultades en la parte práctica de estas áreas debido al predominio de elementos visuales. Este proyecto desarrolla un kit de electrónica educativa, replicable y económico, para ayudar a las personas con discapacidad visual en el montaje de circuitos electrónicos. Las bases del kit se imprimirán en 3D con marcaciones en Braille para identificar componentes, polaridad y código de colores. Además, se elaborará un manual de usuario para guiar en el uso del kit.

Procedimiento:

- Los participantes asistirán a un curso de 4 sesiones sobre electrónica.
- Cada sesión durará aproximadamente 2 horas.
- Durante las sesiones, se utilizará el kit de electrónica educativa desarrollado para este proyecto.
- Los participantes serán guiados en el montaje de circuitos electrónicos y el uso de componentes marcados en Braille.

Participación Voluntaria: La participación en este estudio es completamente voluntaria. Los participantes pueden retirar su consentimiento y dejar de participar sin repercusión negativa.

Beneficios:

- Los participantes adquirirán conocimientos y habilidades en electrónica.
- Se contribuirá al desarrollo de herramientas educativas accesibles para personas con discapacidad visual.

Riesgos:

- No se anticipan riesgos significativos asociados con la participación en este estudio.

Confidencialidad: Toda la información recogida en este estudio será tratada de forma confidencial. Los datos serán almacenados de manera segura y solo el equipo de investigación

tendrá acceso a ellos. Los resultados del estudio podrán ser publicados, pero en ningún caso se revelará la identidad de los participantes.

Consentimiento: He leído y comprendido la información proporcionada sobre el proyecto. Mis preguntas han sido respondidas satisfactoriamente y entiendo que mi participación es voluntaria. Al firmar este documento, doy mi consentimiento para participar en el estudio.

Acepta usted que se haga registro fotográfico y de video durante las sesiones del curso Sí No

Nombre del Participante: _____

Firma del Participante: _____

Fecha: _____

Anexo C. Diseño metodológico del curso “Electrónica básica para personas con discapacidad visual”

A continuación, se muestra una captura de pantalla del diseño metodológico del curso desarrollado en la Biblioteca EPM con personas con discapacidad visual, en el enlace se encuentra el archivo completo: [Electrónica básica para personas con discapacidad visual Julio \(1\).xlsx](#)

Fundación epm		PLANIFICACIÓN Y DISEÑO CURRICULAR DEL PROCESO EDUCATIVO			Código FR_175 Versión 02 Vigente desde 13/03/2023
PROGRAMA/PROYECTO	Biblioteca EPM	LUGAR DE REALIZACIÓN	Biblioteca EPM		
NOMBRE DE PROCESO EDUCATIVO	Electrónica básica para personas con discapacidad visual	RESPONSABLE DEL DISEÑO	Jessica Betancourt Puerta		
TIPO DE ACTIVIDAD	Curso	LÍNEA TEMÁTICA	Desarrollo social		
PÚBLICO OBJETIVO	Jóvenes	ODS IMPACTADO	10. Reducción de desigualdades		
PARTICIPANTES ESPERADOS	10	DURACIÓN	4 sesiones		
OBJETIVO DE APRENDIZAJE	Entender y aplicar los conceptos básicos de la electrónica, construyendo circuitos simples y comprendiendo el funcionamiento de componentes electrónicos clau				
CONCEPTUALIZACIÓN DE CONTENIDO	Electrónica, voltaje, corriente, circuitos, resistencia, carga				
METODOLOGÍA	Experiencial				
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES					
SESION	DURACIÓN	DESCRIPCIÓN DE SESIÓN	MARCO CONCEPTUAL	ACTIVIDAD PEDAGÓGICA, RETO O EXPERIMENTACIÓN	RECURSOS REQUERIDOS
1	2 horas	<p>Inicio: Se da la bienvenida a los participantes, se les invita a presentarse y a contar sus expectativas del curso, se les presenta el objetivo del curso y se contextualiza respecto a que en este curso se pondrán a prueba unos componentes desarrollados por la mediadora para su práctica académica y evaluar la viabilidad y usabilidad del curso.</p> <p>Desarrollo: Se introducen los conceptos de átomo y electrón para explicar los conceptos de voltaje, corriente y resistencia, se implementa una dinámica que permita clarificarlos, usando una maraca o algún elemento que produzca sonido, se les pide a las personas que se hagan en círculo y a algunos de ellos se les dice que son resistencias, la idea es que van a ir pasando el elemento sonoro de mano en mano y la mediadora dira un número del 1 al 10, representando un valor de voltaje, en función de este número los participantes deben pasarlo más rápido o más despacio y quienes son resistencias deben hacerlo más lento de lo que lo estén haciendo los demás.</p> <p>Esto permitirá hablar del voltaje como la fuerza con la que se mueven los electrones, equivalente a la velocidad con la que ellos lo pasen, corriente como el movimiento de los electrones representado por la</p>		<p>Ronda de presentación</p> <p>Dinámica de electrones</p>	<p>Maraca o elemento que produzca sonido, componentes de electrónica adaptados para personas con discapacidad visual (LED, Buzzer, batería, resistencia)</p>

El primer paso es la definición de los objetivos de la asignatura, que se basan en los contenidos mínimos que debe tener el curso. Estos objetivos se definen en función de los conocimientos y habilidades que se espera que los alumnos adquieran al finalizar el curso. A continuación se detallan los objetivos de la asignatura:

1. Conocer los fundamentos de la electrónica digital y su aplicación en sistemas de control.
2. Diseñar y construir circuitos digitales basados en microcontroladores.
3. Programar y configurar microcontroladores para la realización de tareas específicas.
4. Analizar y solucionar problemas de diseño de circuitos digitales.
5. Aplicar los conocimientos adquiridos en el desarrollo de proyectos prácticos.

El segundo paso es la selección de los contenidos de la asignatura, que se basan en los objetivos definidos anteriormente. Los contenidos se dividen en bloques temáticos que se desarrollarán a lo largo del curso. A continuación se detallan los contenidos de la asignatura:

1. Fundamentos de la electrónica digital: lógica booleana, álgebra de Boole, simplificación de expresiones booleanas, mapas de Karnaugh.
2. Circuitos digitales combinacionales: multiplexores, decodificadores, comparadores, sumadores.
3. Circuitos digitales secuenciales: flip-flops, registros, contadores, divisores de frecuencia.
4. Microcontroladores: arquitectura, modos de operación, programación en lenguaje ensamblador y C.
5. Aplicaciones prácticas de microcontroladores: control de motores, control de temperatura, control de velocidad.

Anexo E. Material didáctico en formato audiovisual.

El texto presentado en el anexo D también se presenta en formato audiovisual, el cual se puede encontrar en el siguiente enlace: <https://youtu.be/XvQJgE5AcY8>

Anexo F. Códigos de Arduino para el teclado y el robot.

El siguiente código corresponde al Arduino configurado como Maestro y funcionando como teclado:

```
#include <SoftwareSerial.h>

// Configura los pines para el módulo Bluetooth
SoftwareSerial BTSerial(10, 11); // RX, TX

// Pines de los botones
const int btnUp = 2;
const int btnDown = 3;
const int btnLeft = 4;
const int btnRight = 5;
const int btnExecute = 6;
const int btnDelay = 7; // Nuevo botón para Delay

void setup() {
  // Inicializa el serial Bluetooth
  BTSerial.begin(9600);

  // Configura los pines de los botones
  pinMode(btnUp, INPUT);
  pinMode(btnDown, INPUT);
  pinMode(btnLeft, INPUT);
  pinMode(btnRight, INPUT);
  pinMode(btnExecute, INPUT);
  pinMode(btnDelay, INPUT); // Nuevo botón
}
```

```
void loop() {  
  // Verificar si se presiona algún botón y enviar el comando  
  if (digitalRead(btnUp) == HIGH) {  
    BTSerial.println("F"); // Comando para Adelante  
    delay(300); // Evitar rebotes  
  }  
  if (digitalRead(btnDown) == HIGH) {  
    BTSerial.println("B"); // Comando para Atrás  
    delay(300);  
  }  
  if (digitalRead(btnLeft) == HIGH) {  
    BTSerial.println("L"); // Comando para Izquierda  
    delay(300);  
  }  
  if (digitalRead(btnRight) == HIGH) {  
    BTSerial.println("R"); // Comando para Derecha  
    delay(300);  
  }  
  if (digitalRead(btnExecute) == HIGH) {  
    BTSerial.println("E"); // Comando para Ejecutar las instrucciones  
    delay(300);  
  }  
  if (digitalRead(btnDelay) == HIGH) {  
    BTSerial.println("D"); // Comando para Delay entre instrucciones  
    delay(300);  
  }  
}
```

El siguiente código corresponde al Arduino configurado como esclavo y funcionando como robot:

```
#include <SoftwareSerial.h>

// Configura los pines del módulo Bluetooth
SoftwareSerial BTSerial(10, 11); // RX, TX

// Pines del motor (ajustar según tu configuración)
const int motor1Forward = 9;
const int motor1Backward = 10;
const int motor2Left = 11;
const int motor2Right = 12;

// Array para almacenar los comandos recibidos
char instructions[50]; // Puede almacenar hasta 50 instrucciones
int instructionCount = 0; // Contador de instrucciones

void setup() {
  // Inicializa el serial Bluetooth
  BTSerial.begin(9600);

  // Configura los pines del motor
  pinMode(motor1Forward, OUTPUT);
  pinMode(motor1Backward, OUTPUT);
  pinMode(motor2Left, OUTPUT);
  pinMode(motor2Right, OUTPUT);
}

void loop() {
```

```
if (BTSerial.available()) {
    char command = BTSerial.read(); // Leer el comando recibido

    // Almacenar el comando en el array si no es el comando de ejecutar
    if (command == 'F' || command == 'B' || command == 'L' || command == 'R' || command == 'D')
    {
        instructions[instructionCount] = command;
        instructionCount++; // Incrementa el contador
    }

    // Ejecutar las instrucciones almacenadas cuando se reciba el comando 'E'
    if (command == 'E') {
        executeInstructions();
    }
}

// Función para ejecutar las instrucciones
void executeInstructions() {
    for (int i = 0; i < instructionCount; i++) {
        char instruction = instructions[i];

        switch (instruction) {
            case 'F':
                // Adelante
                digitalWrite(motor1Forward, HIGH);
                delay(1000);
                digitalWrite(motor1Forward, LOW);
                break;
```

```
case 'B':  
    // Atrás  
    digitalWrite(motor1Backward, HIGH);  
    delay(1000);  
    digitalWrite(motor1Backward, LOW);  
    break;  
  
case 'L':  
    // Izquierda  
    digitalWrite(motor2Left, HIGH);  
    delay(1000);  
    digitalWrite(motor2Left, LOW);  
    break;  
  
case 'R':  
    // Derecha  
    digitalWrite(motor2Right, HIGH);  
    delay(1000);  
    digitalWrite(motor2Right, LOW);  
    break;  
  
case 'D':  
    // Delay (pausa entre acciones)  
    delay(1000); // Pausa de 1 segundo (puedes ajustar el tiempo)  
    break;  
}  
}
```

```
// Limpiar las instrucciones después de ejecutar
clearInstructions();
}

// Función para limpiar las instrucciones
void clearInstructions() {
  instructionCount = 0; // Reinicia el contador de instrucciones
  BTSerial.println("Instrucciones completadas");
}
```

Anexo G. Código en Python para la interfaz gráfica.

El siguiente código corresponde la interfaz gráfica mostrada:

```
import tkinter as tk
import serial
import time
import pygame

# Inicialización de PySerial (ajusta el puerto y la velocidad según tu configuración)
arduino = serial.Serial('COM3', 9600) # Cambia 'COM3' al puerto correcto

# Inicialización de Pygame para reproducir sonidos
pygame.mixer.init()

# Cargar sonidos para los botones
sound_up = pygame.mixer.Sound("up.wav")
sound_down = pygame.mixer.Sound("down.wav")
sound_left = pygame.mixer.Sound("left.wav")
sound_right = pygame.mixer.Sound("right.wav")
sound_delay = pygame.mixer.Sound("delay.wav")
sound_execute = pygame.mixer.Sound("execute.wav")

# Ventana principal
root = tk.Tk()
root.title("Control del Robot - Estilo Scratch")
root.geometry("600x400")
root.config(bg="gray")

# Lista de comandos que se enviarán
```

```
commands = []
```

```
# Función para añadir comandos a la lista
```

```
def add_command(command, display_text, sound):
```

```
    global commands
```

```
    commands.append(command)
```

```
    block = tk.Label(frame_commands, text=display_text, bg="lightblue", font=("Arial", 14),  
padx=10, pady=5)
```

```
    block.pack(pady=2)
```

```
    sound.play() # Reproducir sonido
```

```
    print(f"Comando {command} añadido.") # Para depuración
```

```
# Función para ejecutar los comandos almacenados
```

```
def execute_commands():
```

```
    if not commands:
```

```
        tk.messagebox.showwarning("Advertencia", "No hay comandos programados.")
```

```
        return
```

```
# Reproducir sonido de ejecución
```

```
sound_execute.play()
```

```
# Enviar comandos a Arduino
```

```
for command in commands:
```

```
    arduino.write(command.encode())
```

```
    time.sleep(0.5) # Pequeña pausa entre comandos
```

```
print("Comandos ejecutados.")
```

```
# Limpiar la lista visual y el array de comandos
```

```
clear_commands()
```

```
# Función para limpiar los comandos programados
def clear_commands():
    global commands
    commands = []
    for widget in frame_commands.winfo_children():
        widget.destroy()
    print("Comandos limpiados.")

# Botones de control del robot
frame_buttons = tk.Frame(root, bg="gray")
frame_buttons.pack(side="top", pady=20)

# Botones de direcciones
btn_up = tk.Button(frame_buttons, text="Arriba", width=10, height=2, command=lambda:
add_command('F', "Arriba", sound_up))
btn_up.grid(row=0, column=1)

btn_left = tk.Button(frame_buttons, text="Izquierda", width=10, height=2, command=lambda:
add_command('L', "Izquierda", sound_left))
btn_left.grid(row=1, column=0)

btn_right = tk.Button(frame_buttons, text="Derecha", width=10, height=2, command=lambda:
add_command('R', "Derecha", sound_right))
btn_right.grid(row=1, column=2)

btn_down = tk.Button(frame_buttons, text="Abajo", width=10, height=2, command=lambda:
add_command('B', "Abajo", sound_down))
btn_down.grid(row=2, column=1)
```

```
# Botones de Delay y Ejecutar en la misma columna
```

```
btn_delay = tk.Button(frame_buttons, text="Delay", width=10, height=2, command=lambda:  
add_command('D', "Delay", sound_delay))
```

```
btn_delay.grid(row=3, column=1)
```

```
btn_execute = tk.Button(frame_buttons, text="Ejecutar", bg="green", fg="white", width=10,  
height=2, command=execute_commands)
```

```
btn_execute.grid(row=4, column=1)
```

```
# Frame para mostrar los bloques de comandos programados
```

```
frame_commands = tk.Frame(root, bg="gray")
```

```
frame_commands.pack(pady=10)
```

```
root.mainloop()
```