

Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Facultad de Ingeniería

Área Mecánica y Eléctrica-Proyecto Integrador IMT

2024-2025/II

Traductor de braille a voz

No. proyecto: 2425-2-572501-02

Integrantes:

Flores González Jesús Ricardo (IMA)

Cerrillo Martínez Mauricio Enrique (IMA)

Pérez Santillán Ernesto Carlos (IMT)

Torres Romero José Ángel (IMT)

Ramírez Galván Manuel (IMT)

Supervisor: Dr. González Murillo Luis Alberto

Asesor del proyecto: MDDIV. Kado Mercado Elias Jully



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

REGISTRO DE FIRMAS PARA DOCUMENTOS

FACULTAD DE INGENIERÍA
ÁREA MECÁNICA ELÉCTRICA



FPR-040

Este registro deberá estar incluido en la siguiente hoja posterior a la portada del documento.

Las firmas en la columna izquierda indican la aceptación del documento para que el equipo pueda presentarse a examen en la instancia correspondiente (con al menos una semana previa al examen), y de acuerdo con los términos que implican para cada sinodal. La ausencia de firmas en esta columna implicará que el equipo no podrá presentarse en la instancia de examen para el cual está aplicando y deberá proceder a la siguiente instancia bajo la misma normativa.

Las firmas en la columna derecha indican la aprobación del documento por parte de los sinodales en conformidad con los criterios evaluados. La ausencia de firmas en la columna derecha implicará que el documento no fue aprobado por lo que deberá ser corregido para quedar en conformidad.

REPORTE FINAL

Firmas para Presentar Examen	Firmas de Versión Definitiva
Nombre y firma del asesor En conformidad con el contenido y presentación del documento	Nombre y firma del asesor
Nombre y firma del profesor de la asignatura De haber recibido en tiempo la copia del documento	Nombre y firma del profesor de la asignatura
Nombre y firma del tercer sinodal De haber recibido en tiempo la copia del documento	Nombre y firma del tercer sinodal

Importante: El Centro de Desarrollo Tecnológico no dará por recibido el documento si hay ausencia de firmas en cualquiera de las instancias, lo que será un adeudo al Laboratorio.

AGRADECIMIENTOS

El equipo **Braillify** quiere expresar un sincero agradecimiento a todas las personas que hicieron posible este proyecto.

En especial, agradecemos profundamente a nuestra asesora, la M.D.D.I. **Jully Kado Mercado Elías**, por todo el apoyo, tiempo, paciencia y conocimientos que nos brindó. Sus observaciones y retroalimentaciones, tanto antes como después de cada plenaria, fueron clave para mejorar constantemente. Además, sus palabras de aliento nos motivaron a seguir adelante y dar lo mejor de nosotros.

Queremos expresar nuestro agradecimiento al Dr. **Luis Alberto González Murillo**, profesor de la materia de Proyecto Integrador, por estar siempre al pendiente del avance del equipo. Semana tras semana, nos orientó y corrigió cuando fue necesario. Sus palabras de ánimo fueron fundamentales para no rendirnos cuando el camino se complicaba.

Agradecemos al profesor **Sebastián Sánchez González** por su tiempo y disposición para compartirnos su experiencia en temas relacionados con el sistema Braille y los dispositivos de apoyo. Gracias a su guía, pudimos ampliar nuestra perspectiva y enriquecer el proyecto, especialmente con los recursos proporcionados en los cursos de accesibilidad e inclusión que él imparte.

Del mismo modo, extendemos nuestro agradecimiento a cada uno de los sinodales que mostraron interés en nuestro trabajo. Sus comentarios y sugerencias fueron muy valiosos para dejar el proyecto en las mejores condiciones posibles.

Tampoco podemos dejar de lado a nuestras familias, amistades y parejas, quienes nos acompañaron a lo largo de este proceso. Su apoyo emocional fue esencial, sobre todo en los períodos más exigentes del proyecto.

Por último, un agradecimiento especial a cada uno de los integrantes del equipo **Braillify**. Sin la dedicación, esfuerzo y compromiso de todos, este proyecto no habría llegado tan lejos.

RESUMEN

Actualmente existen diversos dispositivos electrónicos orientados a públicos específicos; sin embargo, aún hay sectores con necesidades particulares que no han recibido la atención suficiente. Este proyecto busca cubrir esa brecha de accesibilidad y educación mediante el desarrollo de un dispositivo portátil, interactivo y didáctico, diseñado para facilitar y hacer más dinámico el proceso de aprendizaje del sistema Braille.

Para lograr este objetivo, se emplearon procesos de manufactura como la impresión 3D, junto con diseños estructurales basados en principios de resistencia de materiales. Asimismo, se aplicaron conocimientos de electricidad y electrónica para el diseño y desarrollo del hardware. Se trabajó también con programación e interfaces gráficas para configurar la Raspberry Pi, que funciona como el núcleo del dispositivo, permitiendo una integración eficiente entre hardware y software.

Después de varios meses de investigación, diseño e implementación, se logró construir un prototipo funcional que hace que el aprendizaje del sistema Braille sea más accesible, intuitivo y atractivo. Además, su diseño considera seguridad, resistencia a impactos y facilidad de uso.

Abstract

Currently, there are various electronic devices designed for specific audiences; however, some population sectors with particular needs still lack sufficient attention. This project aims to bridge that accessibility and educational gap by developing a portable, interactive, and educational device intended to make the Braille learning process easier and more dynamic.

To achieve this goal, we employed manufacturing processes such as 3D printing, along with structural designs based on material strength principles. Additionally, knowledge of electricity and electronics was applied to the hardware design and development. We also worked on programming and graphical interfaces to configure the Raspberry Pi, which serves as the core of the device, enabling efficient integration between hardware and software.

After several months of research, design, and implementation, we successfully built a functional prototype that makes learning Braille more accessible, intuitive, and engaging. Moreover, its design prioritizes safety, impact resistance, and ease of use.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	8
1.1 Definición del problema	8
1.2 Contexto de Braillify	9
1.2.1 Misión.....	9
1.2.2 Visión.....	9
1.3 Objetivos	9
1.3.1 Objetivos específicos.....	9
1.4 Justificación	10
1.5 Marco teórico	10
1.5.1 Tecnologías utilizadas en el proyecto	11
1.5.2 Andamiaje	12
1.5.3 Aprendizaje multisensorial.....	13
1.5.4 Metodología en V	14
CAPÍTULO 2: PLANEACIÓN	16
2.1 Estudio de mercado.....	16
2.1.1 Tamaño del mercado	16
2.1.2 Segmentación del mercado.....	16
2.1.3 Competidores	17
2.2 Encuestas.....	18
2.3 Despliegue de la función de calidad (QFD)	19
2.4 Alcances y limitaciones.....	19
2.4.1 Alcances.....	19
2.4.2 Limitaciones.....	19
2.5 Selección de alternativa	20
2.5.1 Alternativa número 1: Prototipo Tipo Caja con Botonera Mecánica	20
2.5.2 Alternativa número 2: Prototipo Compacto con Botonera Retroiluminados.....	21
2.5.3 Alternativa número 3: Prototipo con Diseño Inclinado y Ventilación Integrada	22
2.6 Matriz de selección	23
2.7 Selección de alternativa	25
2.7.1 Características generales	25
2.8 Propuesta económica	26

2.9 Normas Aplicables.....	27
CAPÍTULO 3: DISEÑO A DETALLE	30
3.1 Ergonomía	30
3.1.1 Análisis de ergonomía con método RULA a usuarios	30
3.2 Impresión 3D	36
3.2.1 Parámetros de impresión	37
3.2.2 Selección del material: PLA	38
3.2.3 Análisis mecánico de la impresión	39
3.2.4 Producción y ensamblaje	41
3.3 Cálculos	41
3.3.1 Cálculos de voltaje, corriente y consumo de energía.....	41
3.3.2 Alimentación y Ventilación.....	42
3.3.3 Autonomía con uso de batería	43
3.4 Configuración Audio Raspberry Pi.....	44
3.4.1 Objetivo de la configuración.....	44
3.4.2 Justificación técnica	44
3.4.3 Descripción del script auto_audio_switch.sh.....	45
3.4.4 Evaluación del sistema	45
3.5 Programa	46
3.5.1 Librerías utilizadas	46
3.5.2 Control de hardware	46
3.5.3 Pines de Entrada y Salida.....	47
3.5.4 Diccionario Braille.....	48
3.5.5 Funciones de manejo de entradas	50
3.5.6 Resumen de pines asociados.....	52
3.6 Funcionamiento general del dispositivo	53
3.7 Lógica simplificada del programa Braillify	55
CAPÍTULO 4: PRUEBAS Y FUNCIONAMIENTO	57
4.1 Pruebas de componentes individuales	57
Conclusiones	58
Referencias	61
ANEXOS	64
ANEXO A: Encuestas para alumnos	65

ANEXO B: Encuestas para profesores que imparten braille	68
ANEXO C: Despliegue de la función de calidad (QFD)	71
ANEXO D: Costos estimados	72
ANEXO E: Diagrama de Gantt	74
ANEXO F: Metodología en V	75
ANEXO G: Diagrama de programación	76
ANEXO H: Pruebas de componentes individuales	77
ANEXO H: Imágenes del Prototipo Final del Traductor de Braille a Voz	88
ANEXO I: Vista extrusiva con componentes	91

Índice de ilustraciones

ILUSTRACIÓN 1. PREFERENCIA DE TIPO DE DISPOSITIVO, ENCUESTA A ESTUDIANTES (N=5)	18
ILUSTRACIÓN 2. VISTAS DE ALTERNATIVA 1	21
ILUSTRACIÓN 3. VISTAS DE ALTERNATIVA 2	22
ILUSTRACIÓN 4. VISTAS DE ALTERNATIVA 3	23
ILUSTRACIÓN 5. GRUPO A MÉTODO RULA	31
ILUSTRACIÓN 6. GRUPO B MÉTODO RULA	32
ILUSTRACIÓN 7. POSTURA DE USUARIOS CON LA MAQUETA	33
ILUSTRACIÓN 8. NIVELES DE ACCIÓN	36
ILUSTRACIÓN 9. DISTRIBUCIÓN DE PINES	47
ILUSTRACIÓN 10. ALFABETO EN BRAILLE	50
ILUSTRACIÓN 11. DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO	53
ILUSTRACIÓN 12. DIAGRAMA DE PROGRAMACIÓN SIMPLIFICADO	55
ILUSTRACIÓN 13. DESPLIEGUE DE FUNCIONES CALIDAD	71
ILUSTRACIÓN 14. CÓDIGO QR PARA EL DIAGRAMA DE GANTT	74
ILUSTRACIÓN 15. DIAGRAMA METODOLOGÍA EN V	75
ILUSTRACIÓN 16. CÓDIGO QR PARA DIAGRAMA DE PROGRAMACIÓN	76
ILUSTRACIÓN 17. DIAGRAMA DE PROGRAMACIÓN	76
ILUSTRACIÓN 18. VISTA FRONTAL DEL DISPOSITIVO CON BOTONES BRAILLE	88
ILUSTRACIÓN 19. VISTA LATERAL IZQUIERDA, MOSTRANDO INCLINACIÓN Y PUERTOS DE CONEXIÓN	88
ILUSTRACIÓN 20. VISTA POSTERIOR, SE APRECIA LA PARRILLA DE VENTILACIÓN	89
ILUSTRACIÓN 21. VISTA SUPERIOR DETALLADA DE LA INTERFAZ BRAILLE CON BOTONES Y ESPACIADO	89
ILUSTRACIÓN 22. VISTA INFERIOR-TRASERA MOSTRANDO LA BASE ESTRUCTURAL	90
ILUSTRACIÓN 23. VISTA EXTRUSIVA DEL DISPOSITIVO	91

Índice de tablas

TABLA 1: FASE DE DESARROLLO	14
TABLA 2: VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL PROTOTIPO CERRADO CON BOTONES RESISTENTE	20
TABLA 3: VENTAJAS Y DESVENTAJAS PROTOTIPO COMPACTO CON BOTONERA RETROILUMINADOS.....	21
TABLA 4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS PROTOTIPO CON DISEÑO INCLINADO Y VENTILACIÓN INTEGRADA	22
TABLA 5: MATRIZ DE SELECCIÓN.....	24
TABLA 6: DESGLOSE DE COSTOS TOTALES Y PRECIO DE VENTA	27
TABLA 7: PUNTUACIÓN GRUPO A.....	34
TABLA 8: PUNTUACIÓN GRUPO B.....	35
TABLA 9: PUNTUACIÓN FINAL	35
TABLA 10: PARÁMETROS DE IMPRESIÓN UTILIZADOS.....	38
TABLA 11: MATERIALES PARA LA ENVOLVENTE	39
TABLA 12: ANÁLISIS MECÁNICO.....	40
TABLA 13: DISTRIBUCIÓN DE PINES	48
TABLA 14: DE CODIFICACIÓN BRAILLE	49
TABLA 15: PINES ASOCIADOS CON BOTONES FÍSICOS	52
TABLA 16: COSTOS DEL PRODUCTO	72
TABLA 17: GASTOS INDIRECTOS.....	73
TABLA 18: DESARROLLO TECNOLÓGICO	73
TABLA 19: TABLA DE COMPONENTES DEL DISPOSITIVO	91

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

La inclusión social y educativa de personas con discapacidad visual es un reto persistente a nivel mundial. La falta de acceso equitativo a medios de comunicación, recursos educativos y herramientas tecnológicas ha representado una barrera significativa para millones de personas en todo el mundo. El sistema Braille, inventado por Louis Braille en 1824, ha sido una de las soluciones más relevantes para esta población, permitiendo la lectura y escritura táctil. Sin embargo, su implementación aún enfrenta desafíos importantes, sobre todo en países en desarrollo como México.

Actualmente, según la Sociedad Mexicana de Oftalmología se estima que en México hay alrededor de 2 millones 237 mil personas con deficiencia visual y más de 415 mil 800 personas con ceguera. Muchas de estas afecciones son consecuencia de enfermedades como la diabetes, una condición con alta prevalencia en México. Este problema de salud pública tiene implicaciones globales, ya que enfermedades crónicas como esta están en aumento en muchos países, afectando no solo la salud individual, sino también el desarrollo económico y social de las naciones.

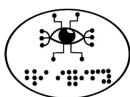
En el contexto nacional, México ha firmado tratados internacionales como la Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad el cual se ratificó el 17 de enero del 2008 y el Tratado de Marrakech el cual fue adoptado el 27 de junio de 2013 en la Conferencia Diplomática convocada en Marrakech, Marruecos, los cuales buscan garantizar el derecho a la educación, la información y la libre expresión de las personas con discapacidad visual. No obstante, la brecha entre las políticas y su aplicación práctica sigue siendo amplia, evidenciada por la escasez de material impreso en Braille y el alto costo de dispositivos especializados.

Desde la perspectiva de la ingeniería y la tecnología, esta problemática representa una oportunidad para diseñar soluciones accesibles, funcionales y de bajo costo. La propuesta de este proyecto responde a la necesidad urgente de generar herramientas tecnológicas que mejoren la inclusión educativa, reconociendo el impacto que estas tienen no solo en el ámbito académico, sino también en la calidad de vida y participación social de las personas con discapacidad visual.

Así, este trabajo busca desarrollar una solución que no solo atienda un problema local, sino que también se alinee con los objetivos globales de inclusión, accesibilidad y equidad social. Con prototipo electrónico que facilite el aprendizaje de la lectura y la escritura en Braille.

1.1 Definición del problema

A pesar de los avances tecnológicos y las iniciativas internacionales en favor de la inclusión, en México las personas con discapacidad visual aún enfrentan barreras significativas para acceder a una educación equitativa. Una de las principales barreras es la falta de materiales educativos en sistema Braille, así como lectores de pantalla, dispositivos Braille electrónicos o escáneres OCR con salida de voz, los cuales no están al alcance de la mayoría de las instituciones educativas ni de las familias.



Ante este panorama, surge la necesidad de diseñar un sistema accesible, económico y funcional que permita a las personas con discapacidad visual acceder a contenido textual de manera autónoma, eficiente y didáctica. El objetivo principal del diseño es facilitar la lectura y comprensión de textos mediante una interfaz adaptada, que pueda ser utilizada en entornos educativos sin requerir infraestructura costosa o compleja.

Sin embargo, el desarrollo de esta solución implica enfrentar diversas restricciones técnicas y económicas. Entre ellas se encuentran:

- Utilizar hardware de bajo costo como Raspberry Pi, sensores accesibles y materiales económicos como PLA para la impresión 3D.
- Diseñar una interfaz intuitiva que permita el uso del dispositivo por personas sin experiencia tecnológica, especialmente niños y adultos mayores.
- Asegurar que el dispositivo tenga un tamaño compacto que facilite su portabilidad y uso en diversos entornos educativos.
- Garantizar la confiabilidad en el reconocimiento de combinaciones Braille y la generación de una salida de voz clara y comprensible.
- Emplear componentes de fácil adquisición en el mercado nacional para facilitar su producción, mantenimiento y escalabilidad.

Este proyecto se plantea como una solución integral a estas necesidades y restricciones, con un enfoque centrado en la inclusión educativa, el diseño accesible y el impacto social positivo.

1.2 Contexto de Braillify

1.2.1 Misión

Diseñar un prototipo interactivo con teclas para el aprendizaje de la lectura y escritura del braille en español latino con base en el sistema Braille de seis puntos para personas con discapacidad visual y con debilidad visual.

1.2.2 Visión

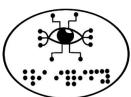
Buscamos facilitar el aprendizaje del braille de forma interactiva y accesible, promoviendo la igualdad de oportunidades y el acceso a la información.

1.3 Objetivos

Diseñar e implementar un prototipo electrónico que facilite el aprendizaje de la lectura y escritura en Braille para personas con discapacidad visual. El sistema debe optimizar los tiempos de asimilación del sistema y mejorar su accesibilidad.

1.3.1 Objetivos específicos

1. Diseñar e implementar un prototipo funcional que traduzca combinaciones Braille a salida de voz, utilizando hardware de bajo costo y programación accesible.



2. Desarrollar una interfaz física que sea intuitiva y ergonómica, que permita a personas con discapacidad visual introducir caracteres Braille de forma sencilla.
3. Fabricar la estructura del dispositivo mediante impresión 3D, considerando criterios de bajo costo, resistencia y portabilidad.
4. Evaluar el desempeño del prototipo en un entorno educativo simulado, con el fin de validar su utilidad, precisión y facilidad de uso.

1.4 Justificación

El acceso a la educación para personas con discapacidad visual en México continúa siendo limitado, en gran parte debido a la escasez de herramientas accesibles y al alto costo del material en sistema Braille. Aunque existen dispositivos especializados, estos no suelen ser económicamente accesibles para muchas escuelas e instituciones. Según la Universidad Iberoamericana, menos del 1% del material de lectura en México está disponible en formato Braille, lo que evidencia una profunda brecha en el acceso a recursos educativos para esta población.

Este proyecto busca desarrollar un sistema electrónico que convierta texto en Braille a salida de voz, empleando hardware de bajo costo, utilizando tecnología accesible como la Raspberry Pi e impresión 3D. El objetivo es crear una herramienta funcional que facilite el aprendizaje y fomente la inclusión educativa.

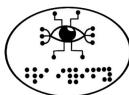
Además de atender una necesidad local, el proyecto tiene un enfoque social claro y está diseñado para ser replicable en diversos contextos. Su implementación no se limita únicamente al ámbito escolar; también puede adaptarse para su uso en bibliotecas públicas, centros comunitarios, organizaciones de apoyo a personas con discapacidad, e incluso en hogares, ampliando así su alcance y contribuyendo a una mayor inclusión educativa y social.

1.5 Marco teórico

El sistema Braille es un método de lectura y escritura táctil diseñado para personas con discapacidad visual. Fue creado en 1824 por Louis Braille, un joven educador francés que perdió la vista a causa de un accidente en su infancia. Este sistema utiliza celdas de seis puntos en relieve, dispuestas en dos columnas y tres filas, que permiten representar letras, números, signos de puntuación y otros símbolos mediante distintas combinaciones.

Cada celda puede formar hasta 64 combinaciones diferentes, las cuales son interpretadas por el tacto, lo que permite a las personas ciegas leer y escribir de forma autónoma. Gracias a su estructura lógica y funcional, el sistema Braille ha sido adoptado a nivel internacional como un estándar para la alfabetización de personas con discapacidad visual.

En México, el sistema Braille fue introducido formalmente en 1870 con la fundación de la Escuela Nacional para Ciegos en la Ciudad de México, impulsada por Ignacio Trigueros Olea. Esta institución marcó un hito en la educación inclusiva del país. Sin embargo, su implementación ha enfrentado desafíos persistentes, como la escasez de materiales y los altos costos asociados a la impresión y fabricación de herramientas necesarias para su práctica.



Estos obstáculos continúan limitando el acceso equitativo a la educación para personas con discapacidad visual. (CNDH)

Pese a los avances tecnológicos, el sistema Braille continúa siendo fundamental, no solo para la lectura, sino también para el desarrollo de habilidades de escritura, comprensión gramatical y expresión escrita de las personas con discapacidad visual. Aprender a escribir en Braille permite a los usuarios tener una participación más activa en entornos académicos, laborales y personales.

Este proyecto parte del reconocimiento de la importancia del Braille como medio de lectura y escritura para personas con discapacidad visual, por lo que propone el desarrollo de un dispositivo que permita a los usuarios escribir combinaciones Braille a través de una interfaz física y recibir retroalimentación auditiva en tiempo real. Esta solución tecnológica busca facilitar tanto el aprendizaje como la práctica del sistema, contribuyendo así a una educación más accesible e inclusiva.

1.5.1 Tecnologías utilizadas en el proyecto

Para el desarrollo del dispositivo traductor de Braille a voz y escritura, el proyecto integra diversas tecnologías accesibles y de bajo costo que permiten la construcción de un sistema funcional, replicable y adaptable a distintos contextos educativos.

- **Raspberry Pi**

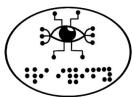
La Raspberry Pi es una microcomputadora de bajo costo y tamaño reducido, ampliamente utilizada en proyectos de prototipado y educación. Su versatilidad y capacidad de procesamiento la convierten en una opción ideal para controlar los componentes del sistema, procesar las entradas del usuario y generar la salida de voz correspondiente. Además, permite ejecutar programas en distintos lenguajes de programación como Python o C/C++, facilitando la interacción con sensores y módulos periféricos, facilitando la integración de sensores, botones y módulos de audio.

- **Lenguaje de programación Python**

Python es un lenguaje de programación de alto nivel, reconocido por su sintaxis simple, legibilidad y una amplia comunidad de soporte. En este proyecto, se eligió no solo por su facilidad de uso, sino también por su excelente compatibilidad con la Raspberry Pi y la gran disponibilidad de bibliotecas de código abierto, lo cual permite un desarrollo ágil y eficiente. Python se utiliza para programar el sistema que interpreta las combinaciones Braille, procesa la información y genera la salida de voz. Además, facilita la implementación de bibliotecas especializadas para la conversión de texto a audio, la gestión de entradas digitales y el control de hardware, lo que resulta ideal para proyectos accesibles y de bajo costo como este

- **Impresión 3D con PLA**

La estructura física del dispositivo será diseñada y fabricada mediante impresión 3D, utilizando material PLA (ácido poliláctico), un termoplástico biodegradable y de bajo costo.



Esta tecnología permite crear carcasa personalizadas, botones y mecanismos adaptados a las necesidades del usuario, asegurando ergonomía, resistencia y accesibilidad. Además, la impresión 3D facilita ajustes rápidos en el diseño del prototipo durante las etapas de prueba.

Conversión de texto a voz (TTS)

El sistema de salida auditiva se basa en la tecnología de conversión de texto a voz (TTS, por sus siglas en inglés), que permite transformar caracteres ingresados en audio comprensible. Se evalúan herramientas compatibles con Python, como pyttsx3 o gTTS, las cuales ofrecen diferentes opciones de voz, idioma y velocidad. Esta función es esencial para brindar retroalimentación inmediata al usuario y reforzar el aprendizaje del Braille.

La combinación de estas tecnologías permite que el proyecto sea funcional, accesible y adaptable a diferentes entornos, representando una solución viable para fomentar la inclusión educativa mediante un dispositivo accesible y adaptable.

1.5.2 Andamiaje

El andamiaje es un principio pedagógico derivado de la teoría sociocultural de Lev Vygotsky, quien sostiene que el aprendizaje se facilita cuando se brinda al estudiante un apoyo estructurado y temporal, el cual se va ajustando progresivamente a medida que el alumno desarrolla sus habilidades, hasta que es capaz de realizar tareas de forma independiente (Vygotsky, 1978).

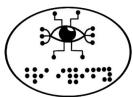
En el contexto de la enseñanza del braille, el andamiaje permite acompañar al usuario desde los conceptos más simples hasta tareas más complejas, garantizando una transición gradual y efectiva.

Niveles de progresión de complejidad

- **Nivel 1 – Reconocimiento de puntos:** La máquina enseña cada punto del sistema braille de forma aislada, acompañado de retroalimentación auditiva inmediata.
- **Nivel 2 – Letras sueltas:** Se introducen combinaciones básicas de puntos que forman letras, con confirmación sonora.
- **Nivel 3 – Sílabas y palabras cortas:** El usuario comienza a combinar letras para formar sílabas y luego palabras cortas. para mayor claridad progresiva
- **Nivel 4 – Oraciones y lectura fluida:** Se fomenta la construcción de frases más largas, promoviendo la comprensión lectora y la fluidez.

Uso de modelado

Se pueden implementar ejercicios donde el usuario escuche una palabra mediante audio y deba escribirla correctamente en braille, promoviendo así la asociación auditivo-táctil y el refuerzo del aprendizaje del sistema Braille.



Beneficios del andamiaje

- Facilita la transición del aprendizaje simple al complejo.
- Reduce la frustración y la ansiedad frente a un nuevo sistema de escritura.
- Aumenta la confianza antes de enfrentar desafíos mayores.
- Promueve la independencia en la lectura y escritura en braille.

1.5.3 Aprendizaje multisensorial

El aprendizaje multisensorial es un enfoque pedagógico que busca activar distintos sentidos como el tacto, la audición y el movimiento para facilitar la adquisición y retención del conocimiento. En el caso de personas con discapacidad visual, este enfoque se adapta privilegiando estímulos táctiles y auditivos. Resulta especialmente útil en la enseñanza del sistema Braille, ya que involucra el **tacto** para la lectura y escritura, y el **oído** como canal de retroalimentación mediante tecnologías de voz. De acuerdo con la **Academy of Orton-Gillingham Practitioners and Educators (AOGPE)**, los métodos multisensoriales aun cuando se omite el estímulo visual siguen siendo altamente efectivos para apoyar el aprendizaje en personas con necesidades educativas específicas.

Principios del aprendizaje multisensorial

- Implica el uso simultáneo de varios sentidos para reforzar la comprensión.
- Facilita el procesamiento de la información en personas con discapacidades sensoriales.
- Favorece un aprendizaje más dinámico, accesible y motivador, especialmente en contextos inclusivos.

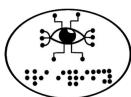
Aplicaciones prácticas

- **Combinación de tacto y sonido:** El usuario presiona combinaciones de botones en braille y recibe retroalimentación auditiva inmediata, reforzando el reconocimiento de letras y palabras.
Se considera incluir una opción en la que la máquina lea en voz alta cada punto antes de confirmar la letra.
- **Incorporación del movimiento:** Se alienta al usuario a tocar y explorar físicamente los botones antes de formar las letras, promoviendo una experiencia kinestésica.

Beneficios

- Mejora la retención del contenido aprendido.
- Facilita el aprendizaje para personas con discapacidad visual.
- Promueve una experiencia de enseñanza más atractiva, dinámica e inclusiva.

Métodos y Técnicas para Potenciar el Aprendizaje



- **Método fonético-silábico:** Este enfoque se basa en la asociación de sonidos con combinaciones específicas de puntos Braille, facilitando la memorización y el reconocimiento de patrones fonológicos. Según la "Guía Didáctica para la Lectoescritura Braille" de la Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación (UMCE), este método es efectivo para desarrollar habilidades de lectura y escritura en estudiantes con discapacidad visual.
- **Método inductivo:** Permite al usuario descubrir patrones en las combinaciones Braille por sí mismo, promoviendo la autonomía y el pensamiento crítico. La investigación "Adaptaciones curriculares para la enseñanza-aprendizaje de estudiantes con discapacidad visual" de la Universidad Nacional de Loja destaca la eficacia del método inductivo en la enseñanza del Braille, al fomentar la participación activa del estudiante en su proceso de aprendizaje.
- **Método de asociación:** Este método relaciona letras o palabras en Braille con sonidos, imágenes mentales u otros estímulos sensoriales, facilitando la comprensión y retención de la información. La "Guía Didáctica para la Lectoescritura Braille" de la UMCE también respalda este enfoque, señalando su utilidad en la enseñanza del Braille al integrar múltiples canales sensoriales en el proceso de aprendizaje.

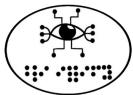
1.5.4 Metodología en V

La metodología en V es un modelo de desarrollo que enfatiza la verificación y validación en cada fase del ciclo de vida del proyecto. A continuación, se describe cada etapa aplicada a este proyecto en la **TABLA 1, TABLA 2 Y TABLA 3**:

1. Fase de Desarrollo (lado izquierdo de la V)

Tabla 1: Fase de Desarrollo

Etapa	Descripción
1. Análisis de requerimientos del usuario	Se identifican las necesidades del público objetivo (personas con discapacidad visual). Se consideran aspectos como accesibilidad, facilidad de uso, portabilidad y bajo costo.
2. Especificación de requerimientos del sistema	Se define técnicamente cómo debe funcionar el sistema: cuántos botones Braille tendrá, qué modos de uso tendrá (como números, mayúsculas, lectura), tipo de salida de audio, interfaz GPIO y compatibilidad con Raspberry Pi.
3. Diseño arquitectónico del sistema	Se estructura el hardware y el software: entradas (botones físicos), procesamiento (Raspberry Pi), y salidas (como bocinas o audífonos).
4. Diseño detallado del sistema	Se detallan el código en Python, la distribución física de los botones, diseño CAD para impresión 3D, conexiones eléctricas, y selección de componentes electrónicos.



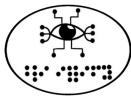
2. Fase de Implementación (pico de la V)

Etapa	Descripción
5. Construcción e integración del prototipo	En esta etapa se ensamblan todos los elementos del dispositivo: instalación de componentes electrónicos, impresión 3D de la carcasa, programación en Python y conexión con salidas de audio.

3. Fase de Validación (lado derecho de la V)

Etapa	Descripción
6. Pruebas unitarias	Se verifica individualmente el funcionamiento de cada componente: lectura de botones, salida de voz, cambio de modo (como números o mayúsculas) y comportamiento de los pines GPIO.
7. Pruebas de integración	Se evalúa el sistema completo en funcionamiento: se ingresan combinaciones Braille y se verifica que la salida de voz coincida con la traducción esperada.
8. Validación del sistema	Se realiza una validación más amplia considerando la experiencia del usuario final: facilidad de uso, accesibilidad, tiempo de respuesta y ergonomía.
9. Entrega del sistema	Se presenta el dispositivo terminado junto con sus resultados, aprendizajes obtenidos y posibles mejoras a futuro.

Para consultar el diagrama de metodología en V consultar el ANEXO E.



CAPÍTULO 2: PLANEACIÓN

2.1 Estudio de mercado

Este estudio de mercado tiene como objetivo evaluar la viabilidad y el potencial del proyecto de traducción de Braille a voz, una herramienta diseñada para ayudar a las personas con discapacidad visual a interactuar de manera más eficiente con el sistema Braille. El proyecto utiliza un conjunto de botones físicos que, al ser presionados en diferentes combinaciones, permiten ingresar combinaciones que representan caracteres en Braille; al ser confirmados, se produce la salida de voz correspondiente, producen la correspondiente salida en audio. La solución busca ser una herramienta accesible y eficiente que facilite el aprendizaje, la lectura y la escritura del Braille, fomentando la independencia de las personas ciegas o con baja visión.

En este estudio, se analizará el tamaño del mercado, la segmentación del mercado y los principales competidores en el ámbito de tecnologías asistivas para personas con discapacidad visual. Además, se explorarán las oportunidades de crecimiento y las estrategias clave para posicionar este proyecto dentro del mercado de dispositivos de accesibilidad. Esto demuestra que el proyecto tiene un mercado objetivo en crecimiento, con una demanda potencial clara y sostenida.

2.1.1 Tamaño del mercado

El mercado de tecnologías asistivas para personas con discapacidad visual está en constante expansión, impulsado por la creciente adopción de soluciones que promuevan la inclusión y la accesibilidad. Se estima que 39 millones de personas en todo el mundo son ciegas, mientras que más de 246 millones tienen baja visión (OMS, 2021). Esta gran base de usuarios potenciales representa una oportunidad significativa para la comercialización de dispositivos y soluciones como la que propone nuestro proyecto.

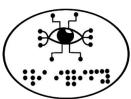
Según estudios de mercado, el sector de las tecnologías para la discapacidad visual se está desarrollando a una tasa compuesta anual (CAGR) de 6.5%, lo que refleja un crecimiento acelerado debido a la integración de nuevas tecnologías y la creciente preocupación por la accesibilidad en entornos educativos, laborales y sociales. Además, los avances en dispositivos de lectura, traducción de Braille y accesibilidad digital han generado un entorno favorable para proyectos como el nuestro.

2.1.2 Segmentación del mercado

La segmentación del mercado para este proyecto puede estructurarse en diferentes categorías:

Por tipo de usuario:

- **Personas ciegas:** Este será el grupo principal de usuarios, que utilizarán la herramienta para mejorar su lectura y escritura en Braille.



- **Personas con baja visión:** Beneficiados por la retroalimentación de audio que complementa el uso del Braille.
- **Educadores y terapeutas:** Profesionales involucrados en la enseñanza del Braille que pueden utilizar la herramienta para facilitar el aprendizaje de los estudiantes.
- **Estudiantes de Braille:** Individuos interesados en aprender el sistema como parte de procesos de alfabetización, rehabilitación o desarrollo de habilidades inclusivas.

Por entorno de uso:

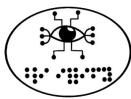
- **Entornos educativos:** Escuelas, universidades y centros de formación donde se enseñan el sistema Braille y habilidades de accesibilidad.
- **Entornos laborales:** Empresas que buscan proporcionar herramientas inclusivas para empleados con discapacidad visual.
- **Uso personal:** Individuos que buscan dispositivos de ayuda para su vida cotidiana, mejorando su autonomía y accesibilidad.

El prototipo es capaz de ser utilizado en los 3 entornos.

2.1.3 Competidores

El mercado de dispositivos asistivos para personas ciegas y con baja visión es competitivo, con varias opciones disponibles que incluyen desde máquinas de escribir Braille tradicionales hasta soluciones electrónicas modernas con funciones avanzadas de accesibilidad. Los principales competidores de nuestro proyecto incluyen:

- **BrailleSense 6 (HIMS):** Un dispositivo avanzado que combina un teclado Braille con salida de voz, pantalla táctil y diversas funcionalidades para estudiantes y profesionales. Aunque similar en enfoque, su precio y complejidad pueden ser desventajas frente a nuestra propuesta que se enfoca en cubrir funciones esenciales con un diseño simplificado y de bajo costo, específicamente pensado para facilitar su implementación en escuelas públicas, bibliotecas comunitarias y entornos domésticos.
- **El Focus 40 Blue (Freedom Scientific):** Un dispositivo de lectura Braille que incluye salida de voz y conectividad con otros equipos electrónicos. Sin embargo, su alto costo y la ausencia de una interfaz física simple (como un panel de botones claramente distribuidos y fáciles de identificar al tacto) pueden dificultar su uso para personas con poca experiencia tecnológica o baja motricidad fina.
- **BrailleNote Touch Plus (HumanWare):** Una opción robusta que integra un teclado Braille y una pantalla táctil, con salida de voz. Es una solución integral, pero puede no ser adecuada para usuarios que buscan un dispositivo simple y esto la vuelve menos adecuada para entornos de enseñanza básica o alfabetización inicial.



- **Dispositivos de Braille mecánicos tradicionales:** Existen máquinas de escribir Braille que utilizan un teclado Braille físico para ingresar texto, similar al propuesto, pero sin capacidades de retroalimentación auditiva ni conectividad digital.

La propuesta de nuestro proyecto se diferencia por su enfoque en la simplicidad, la accesibilidad y el bajo costo. La combinación de botones físicos para la escritura y la retroalimentación en audio la hace ideal para aquellos que buscan una solución práctica y fácil de usar, especialmente en entornos educativos.

2.2 Encuestas

Para identificar las necesidades del mercado y de los clientes, se llevó a cabo una serie de encuestas. Se diseñaron dos tipos de encuestas una dirigida a estudiantes que aprenden Braille, y otra a profesores encargados de impartir dicha enseñanza.

Las preguntas formuladas, que se encuentran en el Anexo A y B: Encuesta, permitieron determinar las características clave y las necesidades que el traductor de Braille a voz debía satisfacer.

A continuación, se presentan un ejemplo de los datos obtenidos durante este proceso en la **Ilustración 1:**

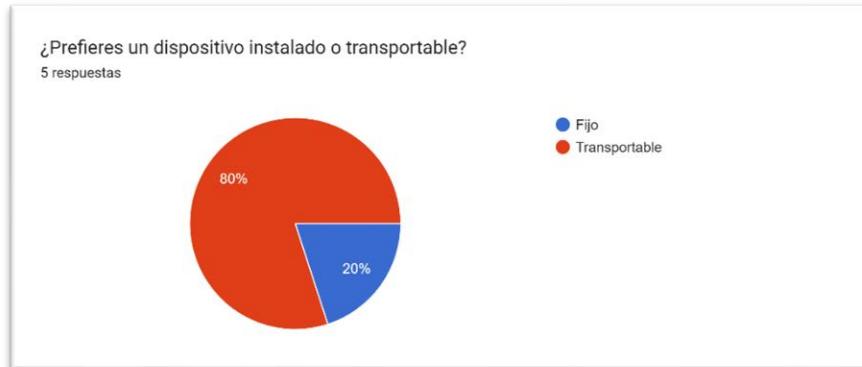
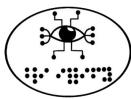


Ilustración 1. Preferencia de tipo de dispositivo, encuesta a estudiantes (n=5)

Recopilando los datos de las respuestas de las encuestas realizadas, se concluyeron los siguientes puntos:

- El dispositivo debe ser de tamaño compacto y familiar.
- Debe ser fácil de transportar y manejar.
- La compatibilidad con otros dispositivos es una característica importante.
- El dispositivo debe permitir interacción sensorial (táctil y auditiva). Por ello, se destacó la inclusión de botones físicos con textura



- También se subrayó la necesidad de que el dispositivo garantice la privacidad durante su uso por ello mismo el requerimiento para los audífonos.

2.3 Despliegue de la función de calidad (QFD)

La selección de un resultado se lleva a cabo mediante la evaluación de las relaciones entre los requisitos del cliente y las características técnicas del producto. Para ello, se utiliza una matriz de despliegue de la función de calidad (QFD), en la cual se cruzan las prioridades del cliente con las capacidades del diseño. Cada celda de la matriz recibe una calificación que indica el grado de correlación entre una característica técnica y un requerimiento del usuario. Esta evaluación permite identificar qué características son más críticas para satisfacer las expectativas del cliente.

En el caso de nuestro proyecto, el traductor de braille a voz, esta metodología nos permitió reconocer los elementos clave que los usuarios necesitan, como la precisión en el reconocimiento de combinaciones de braille, la claridad del audio generado y la facilidad de uso del dispositivo. A partir de esta evaluación, se seleccionaron las características con mayor puntuación, aquellas que mostraron un mayor impacto en la funcionalidad y la percepción de calidad del producto final. Para consultar los resultados de esta evaluación, referirse al Anexo C: QFD.

2.4 Alcances y limitaciones

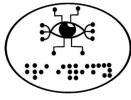
Los alcances y limitaciones del proyecto “Traductor de braille a voz” se establecen considerando las necesidades del usuario final —personas con discapacidad visual— y las condiciones técnicas de desarrollo. El objetivo consiste en desarrollar un dispositivo funcional, accesible y eficiente, capaz de traducir combinaciones Braille a señales de voz claras. Con base en esto, se definieron los siguientes puntos que permitirán orientar el diseño hacia un producto eficaz y de impacto social.

2.4.1 Alcances

- Traducción de caracteres braille a voz en tiempo real.
- Interfaz física con botones que simulan una celda braille.
- Uso de Raspberry Pi 4 y programación en Python.
- Estructura impresa en 3D con material PLA.
- Diseño portátil y de fácil uso.
- Implementación de la metodología en V para desarrollo estructurado.

2.4.2 Limitaciones

- Traducción limitada solo al alfabeto básico en español.
- Dependencia de una fuente de alimentación externa.



- Procesamiento limitado a las capacidades de la Raspberry Pi.
- El dispositivo no cuenta con funciones avanzadas como conectividad inalámbrica ni lectura de textos en Braille físico mediante sensores ópticos o táctiles.

2.5 Selección de alternativa

A partir de los resultados obtenidos mediante la herramienta QFD y del análisis de la voz del cliente, se identificaron las características clave que orientaron el desarrollo de posibles soluciones. Estas alternativas buscan satisfacer de manera óptima los requerimientos del usuario, priorizando la accesibilidad, funcionalidad y viabilidad técnica.

A continuación, se presentan las diferentes propuestas, cada una acompañada de su respectiva tabla comparativa. Finalmente, se muestra el prototipo seleccionado que será desarrollado por el equipo.

2.5.1 Alternativa número 1: Prototipo Tipo Caja con Botonera Mecánica

Como primera propuesta de diseño, se presenta un prototipo cerrado que incorpora una estructura ergonómica y funcional. A continuación, se detallan los elementos incluidos en el diseño, así como los factores a considerar para su fabricación, acompañados de una tabla comparativa de ventajas y desventajas **Tabla 2**.

Tabla 2: Ventajas y desventajas del prototipo cerrado con botones resistentes

Ventajas	Desventajas
El diseño cerrado permite integrar ventiladores para mantener la temperatura adecuada y facilitar actualizaciones o mantenimiento del software.	Al tratarse de una carcasa cerrada, se requiere una mayor cantidad de material para su fabricación, lo que incrementa el costo de impresión.
Los botones físicos, sin retroiluminación, están diseñados para soportar una presión considerable, garantizando su durabilidad.	La capacidad interna del prototipo es limitada, lo que restringe su potencial de expansión o inclusión de más componentes.
La geometría del dispositivo está pensada para brindar comodidad al usuario, manteniendo una inclinación adecuada para facilitar su uso.	El sistema embebido aún está en desarrollo, lo cual limita la capacidad del dispositivo para adaptarse de forma inmediata a nuevas necesidades.

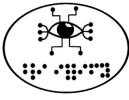




Ilustración 2. Vistas de alternativa 1

2.5.2 Alternativa número 2: Prototipo Compacto con Botonera Retroiluminados

Como segunda opción de diseño, se propone un prototipo más compacto y portable para ser utilizado en entornos educativos, individual o institucional, orientado a facilitar la movilidad y la experiencia de uso en entornos variados. A continuación, se describen sus principales características, acompañadas de una tabla que resume sus ventajas y desventajas para su evaluación integral en **Tabla 3**.

Tabla 3: Ventajas y desventajas prototipo compacto con botonera retroiluminados

Ventajas	Desventajas
Su diseño compacto y liviano permite transportarlo fácilmente, favoreciendo su uso en diferentes contextos.	Debido a su tamaño reducido, existe el riesgo de extravío o pérdida.
Los botones con retroiluminación permiten a los usuarios con baja visión identificar con mayor precisión las teclas presionadas.	El espacio interno limitado dificulta el mantenimiento y puede requerir la intervención de personal capacitado para reparaciones.
Las salidas de audio son similares a las de dispositivos móviles, lo que mejora la familiaridad y adaptación del usuario.	El tamaño compacto de la superficie de escritura puede generar incomodidad o errores al escribir, puede resultar incómodo para usuarios con manos grandes o poca destreza motriz, al reducirse el espacio entre teclas

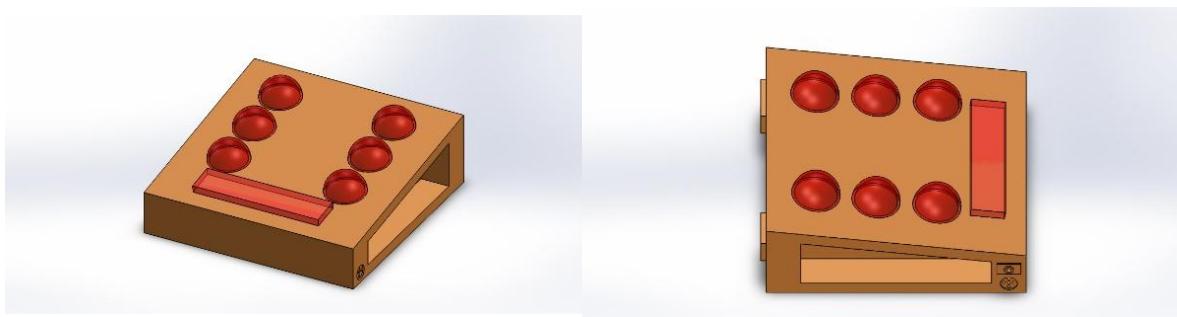


Ilustración 3. Vistas de alternativa 2

2.5.3 Alternativa número 3: Prototipo con Diseño Inclinado y Ventilación Integrada

La tercera propuesta corresponde a un prototipo con diseño inclinado y ergonómico, que incorpora ventilación pasiva y una agarradera para facilitar su transporte. Este modelo está pensado para entornos amplios y con buena ventilación, considerando el calentamiento del sistema operativo durante el uso continuo. A continuación, se describen sus principales características, así como sus ventajas y desventajas en **TABLA 4**.

Tabla 4. Ventajas y desventajas prototipó con diseño inclinado y ventilación integrada

Ventajas	Desventajas
Incluye una agarradera que facilita su transporte, permitiendo al usuario mover el dispositivo con seguridad y comodidad.	El microprocesador genera calor durante el funcionamiento, lo cual requiere ventilación o uso en espacios abiertos.
Los botones incorporan luz y textura, lo cual mejora la accesibilidad para personas con discapacidad visual.	El diseño incluye muchos detalles, lo que incrementa el tiempo y el costo de impresión en 3D.
Cuenta con una tapa de fácil apertura que permite acceder al interior del prototipo para realizar mantenimiento o actualizaciones.	Las rejillas de ventilación podrían comprometer la resistencia estructural del dispositivo, haciéndolo más frágil.

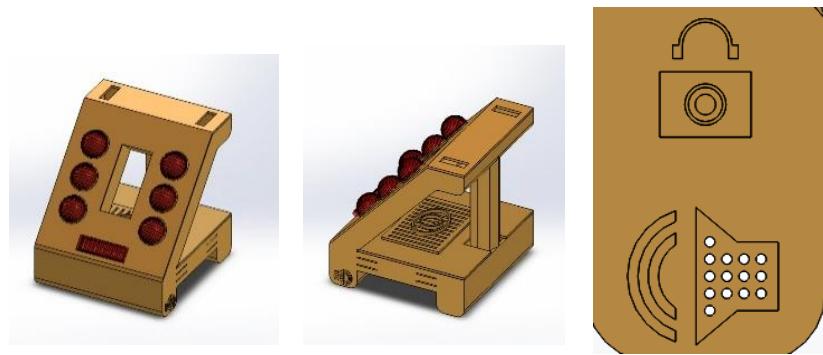


Ilustración 4. Vistas de alternativa 3

2.6 Matriz de selección

Para determinar la alternativa de diseño más adecuada para el dispositivo *Braillify*, se realizó una matriz de selección ponderada, en la cual se evaluaron tres propuestas distintas en función de criterios clave previamente definidos. Cada criterio fue asignado con un peso porcentual de acuerdo a su importancia relativa, y se calificaron las alternativas del 1 al 10 según su desempeño en cada uno.

Los criterios considerados fueron:

- Ergonomía y comodidad de uso (25%)
- Facilidad de transporte (15%)
- Accesibilidad para el usuario (20%)
- Facilidad de mantenimiento (10%)
- Costo de fabricación mediante impresión 3D (10%)
- Durabilidad del diseño (10%)
- Capacidad de integración técnica (10%)

Como se muestra en la **Tabla 5**, la Alternativa 3 obtuvo el mayor puntaje ponderado total (8.50), destacándose especialmente en los aspectos de ergonomía, accesibilidad, transporte e integración técnica. Estos resultados evidencian que esta opción ofrece un mejor balance entre funcionalidad, facilidad de uso y factibilidad de fabricación.

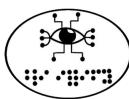
Tabla 5: Matriz de selección

Criterio	Peso (%)	Alternativa 1	Puntaje Ponderado	Alternativa 2	Puntaje Ponderado	Alternativa 3	Puntaje Ponderado
Ergonomía y comodidad de uso	25%	7	1.75	6	1.50	9	2.25
Facilidad de transporte	15%	6	0.90	8	1.20	9	1.35
Accesibilidad para el usuario	20%	7	1.40	8	1.60	9	1.80
Facilidad de mantenimiento	10%	6	0.60	5	0.50	8	0.80
Costo de fabricación (3D)	10%	7	0.70	9	0.90	6	0.60
Durabilidad del diseño	10%	7	0.70	6	0.60	8	0.80
Capacidad de integración técnica	10%	6	0.60	5	0.50	9	0.90
Total	100%		6.65		6.80		8.50

Asimismo, se utilizó la herramienta QFD (Quality Function Deployment) para establecer una correlación entre las necesidades del usuario (el "qué") y las características técnicas del producto (el "cómo"). La matriz QFD permitió priorizar las funcionalidades más valoradas por los usuarios, como la portabilidad, la compatibilidad con otros dispositivos, la facilidad de uso y la comodidad de los botones.

Dichos requerimientos, con pesos importantes dentro de la matriz QFD (por ejemplo, "transportable" con 12.9 y "compatible con otros dispositivos" con 9.7), se ven reflejados directamente en los criterios más influyentes de la matriz de selección, confirmando una alineación clara entre lo que el usuario demanda y los parámetros de diseño considerados en la toma de decisiones.

En conjunto, la matriz QFD y la matriz de selección permitieron fundamentar objetivamente la elección de la alternativa final, asegurando que esta cumpla con los aspectos técnicos requeridos y, al mismo tiempo, con las expectativas y necesidades reales de los usuarios finales del dispositivo.



2.7 Selección de alternativa

La alternativa número 3 fue seleccionada como la opción más adecuada tras aplicar una matriz de selección ponderada, en la cual se evaluaron distintos criterios con base en su importancia relativa para el usuario final. Esta alternativa obtuvo el puntaje ponderado más alto (8.50), destacando principalmente en ergonomía, accesibilidad, capacidad técnica y facilidad de transporte, que fueron los criterios con mayor peso asignado (25%, 20%, 15% y 10% respectivamente).

Aunque presenta ciertos retos técnicos, como una mayor complejidad en la impresión 3D y posibles ajustes de ventilación, los beneficios superan ampliamente estas dificultades. Su diseño inclinado facilita el acceso a los botones, los cuales están retroiluminados y texturizados para mejorar la interacción táctil. Además, la estructura fue concebida con enfoque en la accesibilidad y mantenimiento sencillo, lo que refuerza su valor como solución integral. Esta combinación de factores la posiciona como la mejor alternativa entre las opciones evaluadas, tanto en términos funcionales como en experiencia del usuario.

2.7.1 Características generales

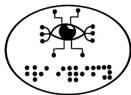
Ergonomía y facilidad de uso:

- **Diseño inclinado y ergonómico:** reduce la fatiga del usuario durante sesiones prolongadas y facilita la escritura en Braille con una postura más natural.
- **Botones retroiluminados y texturizados:** colocados en la parte frontal superior del dispositivo, estos botones permiten una mejor identificación táctil y visual, optimizando la accesibilidad para personas con discapacidad visual.
- **Estructura con asa integrada:** proporciona un agarre cómodo y seguro para su transporte, especialmente útil en entornos educativos, laborales o domésticos.

Hardware y mantenimiento:

- **Compatibilidad con Raspberry Pi 4:** garantiza un buen rendimiento del sistema, ideal para ejecutar el software de traducción de Braille a voz. Se recomienda considerar aspectos como el consumo energético y la disipación térmica, especialmente en sesiones continuas.
- **Tapa abatible para mantenimiento:** da acceso rápido al interior del dispositivo, facilitando la reparación, inspección o sustitución de componentes sin requerir herramientas especializadas.
- **Sistema de ventilación pasiva:** diseñado para mantener una temperatura operativa adecuada sin el uso de ventiladores activos, lo cual favorece el silencio durante el uso. No obstante, requiere precaución al manipularlo para no obstruir las ranuras de ventilación.

Conectividad y salida de audio:



- **Puerto de salida de audio y conexión para audífonos:** mejora la experiencia del usuario al ofrecer opciones privadas o compartidas de reproducción sonora, y es compatible con accesorios estándar de 3.5 mm.

Producción y materiales:

- **Fabricación mediante impresión 3D con PLA:** el diseño incorpora elementos funcionales y estéticos que optimizan la experiencia del usuario, como el relieve de botones y soportes internos. Aunque esto puede aumentar el tiempo de impresión, se justifica por el valor agregado en personalización, ergonomía y accesibilidad.

2.8 Propuesta económica

La propuesta económica se estructuró en tres secciones principales, considerando todos los elementos necesarios para la fabricación, operación y desarrollo del proyecto:

1. Costo del producto:

Se contempla los gastos directos asociados a los materiales, la mano de obra y la maquinaria requerida para la construcción del prototipo. El costo estimado asciende a **\$11,269.40 MXN**.

2. Gastos indirectos:

Incluye conceptos como hospedaje, logística, alimentación y soporte del equipo de trabajo. El total de esta sección es de **\$10,795.00 MXN**.

3. Desarrollo tecnológico:

Considera el valor del trabajo técnico y especializado de los integrantes del equipo durante las etapas de diseño, programación y ensamblaje del dispositivo. Esta sección representa el mayor componente económico, con un total de **\$277,676.08 MXN**.

Para consultar las tablas de Costo del producto, Gastos indirectos y Desarrollo tecnológico referirse al ANEXO D: Costos estimados.

A continuación, se muestra la **Tabla 6: Desglose de costos totales y precio de venta** se muestran los costos totales de la propuesta económica separada por conceptos

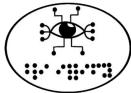


Tabla 6: Desglose de costos totales y precio de venta

GASTOS TOTALES	
Concepto	Costo
Gastos directos	\$11,269.40
Gastos Indirectos	\$10,795.00
Desarrollo tecnológico	\$277,676.08
TOTAL	\$ 299,740.48
Total, con Imprevistos 10%	\$ 329,714.53
Total, Precio de venta con 15% de utilidad sobre venta	\$ 387,899.44
Utilidad neta 15%	\$ 58,184.92

El costo total estimado de las tres secciones es de **\$299,740.48 MXN**. Además, el equipo decidió incorporar un 10% adicional por concepto de imprevistos, contemplando posibles errores durante el ensamblaje o la etapa de programación. El total estimado, considerando imprevistos, asciende a **\$329,741.53 MXN**.

Para definir el precio de venta, se aplicó un margen de ganancia del 15%, criterio estándar en proyectos tecnológicos con producción inicial limitada. Al incluir este margen sobre el total con imprevistos, se obtiene un precio final de venta de **\$387,899.44 MXN**.

Por lo tanto, el margen de utilidad neta correspondiente al 15% equivale a **\$58,184.50 MXN**, asegurando la rentabilidad del proyecto en su etapa inicial de comercialización.

2.9 Normas Aplicables

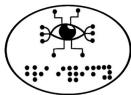
Para garantizar la seguridad, accesibilidad, calidad y usabilidad del dispositivo *Braillify*, se tomaron en cuenta las siguientes normas durante su diseño, construcción y validación:

1. NOM-001-SCFI-2018

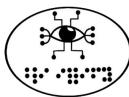
Aparatos electrónicos – Requisitos de seguridad y métodos de prueba
Año de publicación: 2018

Esta norma establece los requisitos de seguridad para aparatos electrónicos conectados a la red eléctrica o alimentados por otras fuentes. En el caso del dispositivo, se aplicaron sus lineamientos mediante:

- **Uso de cables con aislamiento adecuado y conexión segura** a la Raspberry Pi y otros componentes electrónicos.
- **Incorporación de una fuente de alimentación regulada** y protegida contra sobrecargas.

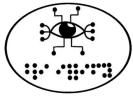


- Diseño del circuito en una caja cerrada para evitar contacto directo con conexiones activas.
Estos aspectos pueden consultarse en el apartado de diseño eléctrico del reporte.
2. **ISO/IEC 24751 ("Access for all")**
Título completo: *Information technology – Individualized adaptability and accessibility in e-learning, education and training – Part 2: "Access for all" personal needs and preferences*
- Esta norma orienta el diseño hacia la personalización y adaptabilidad para personas con discapacidades. En *Braillify* se aplicó al:
- Incluir un **modo de letras, números y espacio**, permitiendo que el usuario seleccione el tipo de entrada.
 - Ofrecer **salida de voz configurable mediante audífonos**, lo cual facilita su uso en entornos ruidosos o privados.
 - Diseñar botones **con textura diferenciada** para ayudar en su identificación táctil.
La sección de interfaz de usuario muestra cómo se implementaron estas funciones adaptativas.
3. **ISO/IEC25010**
Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — System and software quality models
- Define características de calidad en sistemas de software y hardware. Para este proyecto, se consideraron y documentaron:
- **Fiabilidad**, mediante pruebas repetidas de entrada Braille y verificación de traducción correcta a voz.
 - **Usabilidad**, con una distribución clara y lógica de los botones.
 - **Mantenibilidad**, con una **tapa abatible** que facilita el acceso a los componentes internos para revisión o reparación.
Estas características están descritas en la sección de pruebas funcionales y mantenimiento.
4. **ISO 9241 (Ergonomía de la interacción humano-sistema):** Se aplicaron principios de esta norma en el diseño físico del dispositivo para garantizar una interacción cómoda y efectiva:
- Botones **bien espaciados y ubicados** con base en estudios previos de alcance y confort.



- **Retroalimentación auditiva clara** mediante la integración de espeak-ng, que reproduce en voz el carácter confirmado por el usuario.
- Diseño **inclinado y compacto** que favorece la postura natural del usuario al escribir.

Estas decisiones de diseño fueron validadas a través de pruebas con usuarios durante la fase de evaluación del prototipo, tal como se muestra en la sección de validación de usabilidad.



CAPÍTULO 3: DISEÑO A DETALLE

Este apartado presenta los elementos clave del diseño estructural del dispositivo traductor de Braille a voz, considerando su forma, composición y funcionalidad. Se incluyen investigaciones preliminares del PLA para el prototipo, acompañados del análisis de criterios de ergonomía por el método RULA, con el objetivo de facilitar el uso por parte de personas con discapacidad visual.

Además, se justifica la selección de materiales, priorizando la resistencia, durabilidad y ligereza, esenciales para un uso frecuente y prolongado. También se describe el funcionamiento general del sistema, incluyendo diagramas de flujo y programación, que permiten visualizar la lógica interna del dispositivo.

Cada componente de diseño ha sido desarrollado considerando los requerimientos funcionales y de accesibilidad del usuario final

3.1 Ergonomía

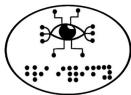
3.1.1 Análisis de ergonomía con método RULA a usuarios

Para evaluar la postura de los usuarios al interactuar con el dispositivo *Braille a voz*, se aplicó el método **RULA** (**Rapid Upper Limb Assessment**), propuesto por McAtamney y Corlett (1993), el cual permite identificar el nivel de riesgo ergonómico en brazos, muñecas, hombros, cuello y tronco durante la manipulación de dispositivos. Esta metodología fue seleccionada debido a que el usuario debe mantener una postura relativamente estable al operar el panel de botones, lo que podría generar fatiga si el diseño no es ergonómicamente adecuado.

La aplicación de RULA permitió analizar diferentes escenarios de uso y realizar ajustes en el **ángulo de inclinación del dispositivo, la altura de los botones y su separación**, con el objetivo de reducir el riesgo postural y mejorar la comodidad durante sesiones prolongadas.

Procedimiento para aplicar el método RULA

1. **Observación del uso del dispositivo:** Se analiza la frecuencia y duración del uso para determinar el impacto ergonómico.
2. **Selección de posturas críticas:** Se identifican las posturas con mayor carga postural por su duración o desviación de la posición neutral.
3. **Determinación del lado del cuerpo a evaluar:** Se analiza el lado derecho, izquierdo o ambos según la interacción del usuario.
4. **Registro de datos posturales:** Se tomaron 4 imágenes y videos para medir ángulos y posiciones articulares.
5. **Evaluación con la tabla RULA:** Se asignan puntuaciones a cada articulación y se calcula el nivel de riesgo.
6. **Definición de mejoras:** Se establecen ajustes en la postura del usuario o en el diseño del dispositivo.



7. Implementación y reevaluación: Se aplican cambios y se vuelve a evaluar con RULA para verificar la mejora ergonómica.

GRUPO A

La siguiente **ILUSTRACION 5** muestra los diagramas para la puntuación de la postura del Grupo A formado por el brazo, antebrazo y muñeca, una sección para la pronación y supinación (llamado “Giro de muñeca”).

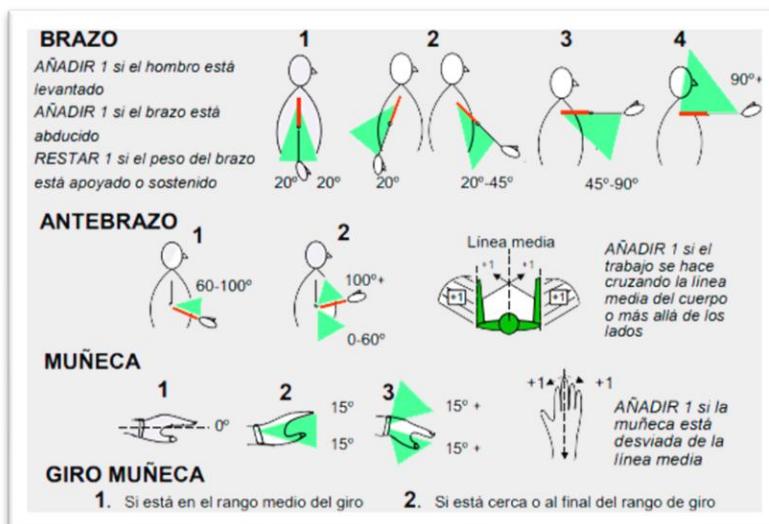


Ilustración 5. Grupo A método RULA

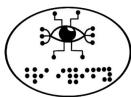
La evaluación del rango de movimiento del brazo en el método RULA se asigna mediante una escala de puntuaciones basada en la posición y flexión de la articulación. Se considera un puntaje de 1 cuando el brazo se encuentra entre 20° de extensión y 20° de flexión, aumentando progresivamente: 2 puntos si la extensión supera los 20° o la flexión está entre 20° y 45°, 3 puntos para un rango de 45° a 90°, y 4 puntos si la flexión es igual o superior a 90°.

En cuanto al antebrazo, la puntuación varía según su inclinación: 1 punto cuando la flexión está entre 60° y 100°, y 2 puntos si el ángulo es inferior a 60° o mayor a 100°. Además, si el antebrazo cruza la línea media del cuerpo o se extiende más allá del lateral del tronco, se añade 1 punto extra.

Para la muñeca, se otorga 1 punto si está en posición neutral, 2 puntos si la flexión o extensión está entre 0° y 15°, y 3 puntos cuando supera los 15°. Si la muñeca presenta una desviación radial o cubital, se suma 1 punto adicional.

El giro de la muñeca (pronación y supinación) se evalúa en relación con la posición neutral, asignando 1 punto si se encuentra en el rango medio de torsión y 2 puntos si está cerca del límite del movimiento.

Adicionalmente, se aplican ajustes a la puntuación dependiendo de la postura del usuario:



- **+1 punto** si el hombro está elevado.
- **+1 punto** si el brazo se encuentra en abducción.
- **-1 punto** si el brazo está apoyado o sostenido, reduciendo la carga muscular.
- **+1 punto** si la tarea requiere movimientos que crucen la línea media del cuerpo.

Este análisis permite determinar el impacto ergonómico de cada postura y ayuda a identificar posibles **riesgos musculoesqueléticos**, facilitando la implementación de mejoras en el diseño del dispositivo.

GRUPO B

La siguiente **Ilustración 6** muestra los diagramas para la puntuación de la postura del Grupo B que está conformado por el cuello, tronco y piernas.

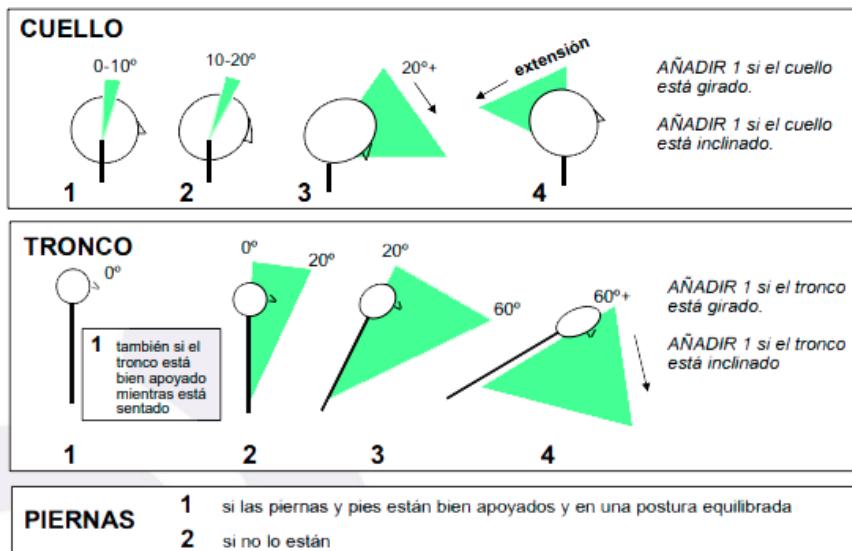
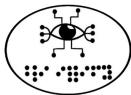


Ilustración 6. Grupo B método RULA

La evaluación del cuello en el método RULA se basa en el grado de flexión o extensión de esta articulación. Se asigna una puntuación de 1 cuando la flexión está entre 0° y 10° , 2 para un rango de 10° a 20° , y 3 si la flexión supera los 20° . Si el cuello se encuentra en extensión, la puntuación asciende a 4. Además, se incrementa 1 punto adicional si el cuello está girado o presenta inclinación lateral.

En el caso del tronco, la puntuación depende de la postura del usuario. Se otorga 1 punto si la persona está sentada con la espalda bien apoyada y con un ángulo cadera-tronco de 90° o más. Para una flexión de 0° a 20° , se asigna 2 puntos, mientras que si la flexión se encuentra entre 20° y 60° , la puntuación aumenta a 3. Si la flexión supera los 60° , se otorgan 4 puntos. También se suma 1 punto extra si el tronco está girado o inclinado lateralmente.



Por otro lado, la evaluación de la postura de las piernas se clasifica de la siguiente manera:

- **1 punto** si las piernas y los pies están correctamente apoyados en posición sentada, con el peso distribuido de manera uniforme.
- **1 punto** si el usuario está de pie con el peso equilibrado sobre ambos pies y con espacio suficiente para ajustar la posición de las piernas.
- **2 puntos** si las piernas y los pies no están bien apoyados o si el peso no está distribuido de manera uniforme.

EVIDENCIA

En las siguientes ilustraciones (**Ilustración 7**) se presentan las pruebas realizadas a diversos usuarios con el propósito de analizar su postura mientras interactuaban con el prototipo. A partir de estas evaluaciones, se llevó a cabo un estudio detallado de los ángulos posturales, los cuales han sido organizados y analizados para los grupos A y B.



Ilustración 7. Postura de usuarios con la maqueta

La puntuación obtenida para el **grupo A** fue de **6**, con la siguiente distribución:

- **Brazo:** 2 → La flexión del brazo se encuentra en un rango de **20° a 45°**.
- **Antebrazo:** 2 → El antebrazo presenta una flexión superior a **100°** en relación con la línea del brazo.
- **Muñeca:** 2 → La muñeca está flexionada en **15° o menos** respecto a la línea del antebrazo.

Este análisis permite identificar las condiciones posturales del grupo A y su impacto ergonómico en la interacción con el prototipo.

El **valor obtenido** por el **grupo A** fue de **3**, como se muestran en la siguiente **Tabla 7**. Esta puntuación se determinó a partir de la evaluación individual de cada miembro del grupo A, considerando los criterios establecidos en el análisis ergonómico.

Tabla 7: Puntuación grupo A

		PUNTUACIÓN DE LA MUÑECA					
BRAZO	ANTEBRAZO	1		2		3	4
		GIRO	GIRO	GIRO	GIRO	GIRO	GIRO
1	1	1	2	1	2	1	2
	2	2	2	2	2	3	3
	3	2	2	2	2	3	3
2	1	2	2	2	2	1	1
	2	3	3	3	3	4	4
	3	3	4	4	4	5	5
3	1	3	3	4	4	4	5
	2	3	4	4	4	4	5
	3	4	4	4	4	5	5
4	1	4	4	4	4	5	5
	2	4	4	4	4	5	5
	3	4	4	4	5	5	6
5	1	5	5	5	5	6	7
	2	5	6	6	6	7	7
	3	6	6	6	7	7	8
6	1	7	7	7	7	8	9
	2	8	8	8	8	9	9
	3	9	9	9	9	9	9

La siguiente puntuación obtenida por el **grupo B** fue de **3**

- **Cuello:** 1 → debido a que el cuello esta flexionado entre **0° y 10°**.
- **Tronco:** 1 → esto porque el tronco no esta flexionado y el usuario se encuentra sentado.
- **Piernas:** 1 → el usuario se encuentra sentado con ambas piernas apoyadas al piso.

El **valor obtenido** por el **grupo B** fue de **1**, como se muestra en la siguiente **Tabla 8**.

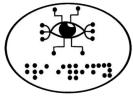


Tabla 8: Puntuación grupo B

		PUNTUACIÓN DE LA POSTURA DEL TRONCO					
		1	2	3	4	5	6
PUNTUACIÓN DE LA POSTURA DEL CUELLO	PIERNAS	PIERNAS	PIERNAS	PIERNAS	PIERNAS	PIERNAS	PIERNAS
	1	2	1	2	1	2	1
1	1	3	2	3	3	4	5
2	2	3	2	3	4	5	5
3	3	3	3	4	4	5	5
4	5	5	5	6	6	7	7
5	7	7	7	7	8	8	8
6	8	8	8	8	8	9	9

Puntuación por el uso muscular.

No se asigna un valor adicional, ya que la postura evaluada presenta niveles mínimos de carga estática, los cuales están relacionados con la fatiga muscular, pero no corresponden a una jornada laboral prolongada. Esto indica que el usuario podrá adoptar una postura de descanso cuando lo considere necesario, sin estar expuesto a la manipulación de cargas.

Por lo tanto, el valor de C es igual a A, y el valor de D es igual a B.

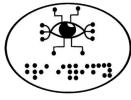
Puntuación final.

Se logró obtener una puntuación final de 3, utilizando la siguiente **Tabla 9**. Comparando los valores obtenidos de cada grupo.

Tabla 9: Puntuación Final

PUNTUACIÓN D (cuello, tronco, pierna)

PUNTUACIÓN C (miembro superior)	1	2	3	4	5	6	7+
	1	2	3	3	4	5	5
1	1	2	3	3	4	5	5
2	2	2	3	4	4	5	5
3	3	3	3	4	4	5	6
4	3	3	3	4	5	6	6
5	4	4	4	5	6	7	7
6	4	4	5	6	6	7	7
7	5	5	6	6	7	7	7
8	5	5	6	7	7	7	7



Esto indica que, aunque la postura de trabajo se encuentra dentro de los rangos considerados adecuados, existen acciones repetitivas que podrían generar impacto a largo plazo. Este tipo de actividades podrían requerir estudios complementarios para evaluar su efecto en el usuario y determinar la necesidad de posibles ajustes.

Si bien no se requiere una intervención inmediata, es recomendable realizar un seguimiento para prevenir futuras afectaciones. Como resultado de la evaluación, se ha obtenido un "Nivel de Acción 2", según se muestra en la siguiente **Ilustración 8**.

- "Nivel de acción 1"**: puntuación de 1 ó 2; la postura es aceptable si no se mantiene o repite durante largos períodos.
- "Nivel de acción 2"**: puntuación de 3 ó 4; podrían requerirse análisis complementarios y cambios.
- "Nivel de acción 3"**: puntuación de 5 ó 6; se precisan investigaciones y cambios a corto plazo.
- "Nivel de acción 4"**: puntuación de 7 indica que se requieren investigaciones y cambios inmediatos.

Ilustración 8. Niveles de acción

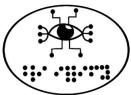
3.2 Impresión 3D

La fabricación del prototipo del traductor de Braille a voz se realizó mediante impresión 3D, la cual incluyó tres etapas clave: investigación, preproducción y postproducción.

Cada etapa tuvo una serie de pasos y se caracterizó por un enfoque muy diferente en cada uno, en la primera etapa de investigación nos enfocamos en el conocer cada uno de los parámetros que existen en nuestro programa de impresión 3D, les dimos un enfoque más claro a los elementos del modelo, por ejemplo el nivel de material que se utilizaría se analizó en este punto de la investigación, también se analizaron los colores que serían utilizados, cuales serían los requisitos del cliente y todo lo que tiene que ver con la técnica de la impresión 3D.

En la etapa de preproducción se hizo un análisis de cuál de los materiales eran los mejores, se editaron los parámetros del programa utilizado en la impresión 3D y se hizo una lubricación y limpieza a fondo de la impresora 3D, una vez que tuvimos todo esto listo comenzamos con las compras de PLA y se pensó en crear un ambiente ideal para que se imprimiera durante horas.

Por último, la postproducción nos llevó al análisis de las futuras formas de utilización de nuestro proyecto y a la idea de cómo implementar de forma correcta cada uno de los elementos que tenemos en nuestro proyecto.



Software y compatibilidad

Para preparar los archivos de impresión se utilizó el software Ultimaker Cura, una herramienta gratuita ampliamente adoptada en el entorno de impresión 3D. Este programa destaca por su facilidad de uso y su capacidad de integración con diversas impresoras y plataformas CAD, como SolidWorks, el cual fue el entorno principal utilizado para el diseño de las piezas del proyecto.

Características de la cama de impresión

Las impresiones se realizaron sobre una cama de 22 x 22 cm, medida estándar en muchas impresoras, como la Tarántula Pro. Este tamaño ofrece un equilibrio entre volumen y eficiencia, facilita la nivelación y calibración, y permite una distribución uniforme del calor, lo cual es esencial para lograr una buena adherencia de las capas y evitar deformaciones.

La cama se configuró para trabajar a una temperatura de 70 °C, ideal para mejorar la adherencia del PLA durante la impresión inicial, reduciendo el riesgo de desplazamiento o deformaciones

3.2.1 Parámetros de impresión

La temperatura de extrusión seleccionada fue de 215 °C, ubicada dentro del rango típico para filamentos PLA (180–220 °C). Esta temperatura favorece una adecuada fusión del material y mejora la adherencia entre capas, lo que incrementa la resistencia mecánica de las piezas.

A continuación, se describen algunos de los parámetros utilizados:

- Infill Density (densidad de relleno):**

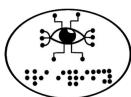
Define el porcentaje de volumen interno que estará ocupado por material. Para piezas que no estarán sometidas a cargas, se puede utilizar un infill bajo (10–20%) para ahorrar material y tiempo. Para componentes estructurales o expuestos a esfuerzos, se recomienda un infill más alto (30–50% o más), lo cual garantiza mayor rigidez y resistencia, en este caso utilizamos un 30% debido a que se adaptaba a la cantidad de filamento con la que contábamos.

- Shell Thickness (grosor de pared):**

Es el número de perímetros exteriores de la pieza. Para mejorar la resistencia estructural, especialmente en piezas funcionales, se recomienda un shell más grueso, de 3 a 4 perímetros o más, lo cual incrementa significativamente la integridad mecánica.

En este caso utilizamos por defecto la cantidad que arroja el programa (0.8 mm) esto nos deja tener una integridad mecánica promedio, es decir tiene una buena resistencia estructural y equilibra el peso del dispositivo.

El PLA que utilizamos requiere los siguientes parámetros, esto es debido a que en su ficha resalta que si no se utiliza una temperatura mayor a 210°C tendremos problemas de fijación y sobre todo obtendremos una masa que no se podrá unir entre capas, para poder nutrir aun mas la resistencia utilizamos la base de impresión con una temperatura de 70°C y los



parámetros ya comentados, así podríamos crear un sistema que tenga un equilibrio de peso y resistencia.

Tabla 10: Parámetros de impresión utilizados

Parámetro	Valor
Software	Ultimaker Cura
Tamaño de cama	22 cm x 22 cm
Temperatura de extrusión	215 °C
Temperatura de la base	70 °C
Altura de capa (modo draft)	0.2 mm
Altura de capa (modo normal)	0.15 mm
Flow	100%
Shell thickness	0.8 mm
Infill density	0.5 mm (ajustado según uso)

3.2.2 Selección del material: PLA

Para la envolvente del dispositivo, se evaluaron diferentes tipos de filamento PLA, considerando criterios como costo, temperatura de impresión, resistencia mecánica y si requieren materiales auxiliares como laca adhesiva. Como se detallan en la siguiente tabla comparativa **TABLA 11: Materiales para la envolvente**.

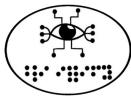


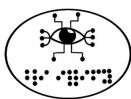
Tabla 11: Materiales para la envolvente

MATERIALES PARA ENVOLVENTE				
PLA MATTE				
Costo	Temperatura	¿Material extra?	Fuerza:	Tiempo
890	210°C a 250°C	Si, laca	módulo de elasticidad de 2500 MPa	Tiempo de impresión estándar
PLA POLIMEX				
Costo	Temperatura	¿Material extra?	Fuerza:	Tiempo
336	80°C A 230°C	No	No soporta alta resistencia	Tiempo de impresión estándar
PLA ECOLOGICO POLIMEX				
Costo	Temperatura	¿Material extra?	Fuerza:	Tiempo
340	80°C A 230°C cama a menos de 60°C	No	No soporta alta resistencia	Tiempo de impresión estándar
PLA ECOLOGICO (HECHO DE OTROS ROLLOS)				
Costo	Temperatura	¿Material extra?	Fuerza:	Tiempo
299	215°C	No	Alta resistencia	Tiempo de impresión estándar
PLA STEREN				
Costo	Temperatura	¿Material extra?	Fuerza:	Tiempo
399 MENUDEO Y 348 MAYOREO	190-220°C	No	Alta resistencia	Tiempo de impresión estándar

Se eligió el **PLA ecológico de alta resistencia polimex** por su buen comportamiento mecánico, temperatura adecuada y compatibilidad con la impresora, además de su menor impacto ambiental.

3.2.3 Análisis mecánico de la impresión

Para asegurar la resistencia y funcionalidad del dispositivo, se realizó una revisión de estudios relacionados con las propiedades mecánicas del PLA y cómo estas varían según los



parámetros de impresión 3D. En particular, se analizaron investigaciones enfocadas en cómo influyen la orientación del filamento, el patrón de deposición, la velocidad de extrusión y la altura de capa en el comportamiento mecánico de las piezas.

Como parte del análisis, se consideraron los resultados de ensayos de tracción realizados con probetas impresas en PLA, siguiendo las especificaciones de la norma UNE-EN ISO 527-2:2012 (Norma Internacional para determinar las propiedades de tracción de los plásticos reforzados y no reforzados), que establece las condiciones para evaluar la resistencia a la tracción de materiales plásticos.

Las probetas fueron impresas con las mismas propiedades de impresión (altura de capa, velocidad y temperatura), pero con diferente orientación del patrón de deposición: 0° , 45° y 90° . Este enfoque permitió evaluar cómo varía el desempeño mecánico simplemente por el ángulo de impresión, lo cual es fundamental para piezas funcionales como las del dispositivo Braille a voz.

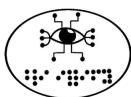
Los resultados de los estudios revelaron diferencias significativas como se muestra en la **Tabla 12** la cual hace la comparación del módulo de Young y la tensión máxima con distintos ángulos de impresión:

Tabla 12: Análisis mecánico

Orientación	Módulo de Young (GPa)	Tensión máxima (MPa)	Fuente
0°	1.668	55.86	[30]
45°	3.6	64.03	[24]
90°	4.04	46.24	[26]

- El estudio de la referencia [24] demostró que las piezas impresas con una orientación de 45° ofrecen un mejor comportamiento frente a la fatiga, mayor capacidad de plastificación y mayor tensión de rotura. Esto se debe a una mejor distribución del esfuerzo a lo largo de las capas, así como a una interacción más homogénea entre filamentos.
- Por otro lado, la referencia [30] mostró que, aunque la orientación a 0° presenta una tensión máxima aceptable, tiene menor módulo de Young, lo que implica una menor rigidez estructural.
- Finalmente, la referencia [26] identificó que la orientación a 90° ofrece un módulo de Young más alto, pero con menor resistencia a la tracción, lo que la hace menos adecuada para componentes sometidos a esfuerzos en múltiples direcciones.

Con base en estos resultados, se concluyó que la orientación a 45° es la más adecuada para las piezas del dispositivo, ya que brinda una combinación óptima entre resistencia mecánica,



rigidez estructural y comportamiento frente a esfuerzos cíclicos, sin requerir cambios en los parámetros térmicos ni de velocidad.

Este análisis fundamenta técnicamente las decisiones tomadas en la configuración de impresión y garantiza que las piezas cumplan con los requerimientos de durabilidad y uso prolongado.

3.2.4 Producción y ensamblaje

El tiempo total de impresión de las piezas fue de 81 horas, en las cuales se trabajó durante 61 horas con las impresiones 3D que cubrían toda la estructura y 20 horas fueron aplicadas en los botones y algunas agarraderas importantes de la botonera. El proceso de ensamblaje tomó aproximadamente 8 horas adicionales, durante las cuales se pegaron los componentes utilizando Loctite 495 (31), un adhesivo especializado para plásticos como el PLA.

Ventajas del Loctite 495:

- Alta compatibilidad con plásticos duros y semirrígidos, en este caso perfecto para uniones de PLA.
- Curado rápido en contacto con la humedad.
- Aplicación limpia gracias a su baja viscosidad.
- No requiere mezcla ni condiciones especiales de curado.
- Proporciona una unión resistente sin dejar residuos visibles, esto ayuda a que nuestro prototipo no tenga ningún problema visual y/o superficies rugosas extras.

3.3 Cálculos

Para asegurar el correcto funcionamiento del dispositivo Braillify, es necesario estimar su consumo eléctrico total. Esta sección presenta el cálculo de la potencia, corriente, eficiencia del sistema y ventilación, tomando en cuenta los componentes involucrados y su comportamiento durante la operación. Los valores utilizados provienen de hojas técnicas de los fabricantes y estimaciones basadas en pruebas previas y condiciones de diseño.

3.3.1 Cálculos de voltaje, corriente y consumo de energía

Se parte de la formula general de potencia

$$P = V * I$$

P es el voltaje en vatios (W)

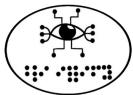
V es el voltaje en voltios (V)

[1]

I es la corriente en amperios (A)

Potencia estimada de los componentes

Para la Raspberry Pi de acuerdo a datos del fabricante:



$$P_{raspberry} = 5V * 3A = 15W \quad [3]$$

$$P_{cables} = 5V * 1A = 5W$$

Para calcular el consumo total de los componentes, sumamos la potencia consumida por cada uno:

$$P_{total} = 15W + 5W = 20W \quad [2]$$

Se requiere que la fuente de alimentación puede proporcionar al menos la corriente combinada de ambos componentes. El voltaje permanece en 5V, pero la corriente necesaria es la suma de las corrientes de ambos dispositivos.

$$I_{total} = 3A_{Raspberry} + 1A_{cables} = 4A \quad [4]$$

Por lo tanto, la fuente de alimentación debe ser capaz de suministrar 5 V y al menos 4 A

$$I_{seguridad} = I_{total} * (1 + 0.20) = 4A * 1.2 = 4.8A \quad [5]$$

Así, una fuente de alimentación de 5V y 4.8A o más sería ideal. Además, se recomienda considerar un margen de seguridad del 20% para asegurar un funcionamiento estable y prevenir sobrecargas.

Además, considerando la eficiencia de los reguladores de voltaje o convertidores del sistema, es posible que se pierda algo de energía. Si la eficiencia de la fuente de alimentación es del 90%, el consumo total del sistema sería mayor que el calculado. Para tomar esto en cuenta:

$$P_{total con eficiencia} = \frac{P_{total}}{\text{Eficiente}} = \frac{20W}{0.90} = 22.22 W \quad [6]$$

Esto significa que la fuente de alimentación podría consumir aproximadamente 22.22 W desde la red eléctrica para entregar 20 W al sistema.

3.3.2 Alimentación y Ventilación

En un sistema ideal, toda la energía consumida se convierte en calor, por lo que el proyecto genera aproximadamente 20 Joules de calor por segundo (equivalente a 20 W). La relación entre energía (calor) potencia y tiempo se expresa mediante la fórmula:

$$\text{Calor (J)} = \text{Potencia (W)} * \text{Tiempo (s)} \quad [7]$$

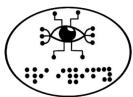
Para un tiempo de funcionamiento de 1 hora:

$$\text{Calor} = 20W * 3600s = 72000 J \quad [8]$$

Las opciones para disipar el calor son:

- Disipadores de calor
- Ventiladores

Disipación de calor con ventilador



Al consumir aproximadamente 20W, genera 20J/s de calor, lo que hace necesario un ventilador para disipar este calor y mantener una temperatura adecuada y segura para los componentes.

Flujo de aire requerido

El flujo de aire necesario para un ventilador se mide en CFM (Cubic Feet per Minute, pies cúbicos por minuto, y se puede calcular mediante la formula **basada en estándares de ventilación de pequeños sistemas electrónicos**:

$$CFM = \frac{Watts * 3.16}{\Delta T} \quad [9]$$

Donde:

Watts es la potencia que genera el calor (20 W en este caso).

ΔT es la diferencia de temperatura deseada entre el aire entrante y el aire que expulsa el ventilador, en grados centígrados. Para este proyecto, se usa una diferencia de temperatura de 10°C ya que es seguro y eficaz para la mayoría de los sistemas electrónicos y permite usar un ventilador pequeño sin forzar el sistema y evitar sobrecalentamientos.

Suponiendo un enfriamiento de 10°C:

$$CFM = \frac{20W * 3.16}{10^{\circ}C} \cong 6.32CFM \quad [10]$$

Por lo tanto, se necesita un ventilador con un flujo de aire alrededor de 6.32 CFM para disipar adecuadamente el calor generado.

Justificación de la selección del ventilador

La elección del ventilador se basa en los siguientes puntos:

Flujo de aire calculado: un ventilador con un flujo de aire cercano al mínimo calculado (aproximadamente 6.32 CFM) es suficiente para disipar el calor generado.

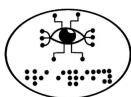
Consideraciones de tamaño y voltaje: El ventilador debe ser compacto y adecuado para el sistema embebido.

Selección del ventilador

- Modelo referencial: GeeekPi 30mm
- Especificaciones: tamaño 30x30x10 mm y voltaje nominal 5V DC

3.3.3 Autonomía con uso de batería

En un sistema ideal, la duración de la batería depende de la capacidad de la misma, el consumo de corriente de los dispositivos conectados y la eficiencia del sistema. Para este proyecto, se tiene la batería GAR158, que tiene las siguientes características:



- **Capacidad de la batería:** 20000 mAh
- **Corriente de consumo (en reposo):** 600 mA
- **Corriente de consumo (en funcionamiento):** 900 mA
- **Eficiencia:** 80%

La relación entre el tiempo de autonomía, la capacidad de la batería y el consumo de corriente se expresa mediante la fórmula:

$$Tiempo = \left(\frac{\text{Capacidad de la batería (mAh)}}{\text{Corriente consumida por la Raspberry Pi (mA)}} \right) \times \text{Eficiencia} \quad [11]$$

Para el funcionamiento en reposo, el tiempo de autonomía de acuerdo con los datos del fabricante es:

$$Tiempo real en reposo = \left(\frac{20000mAh}{600mA} \right) \times 0.8 = 26.66 \text{ horas} \quad [12]$$

Y para el funcionamiento en condiciones normales (cuando la corriente es de 900 mA), el tiempo de autonomía de acuerdo con los datos del fabricante es:

$$Tiempo real en uso = \left(\frac{20000mAh}{900mA} \right) \times 0.8 = 17.77 \text{ horas} \quad [13]$$

3.4 Configuración Audio Raspberry Pi

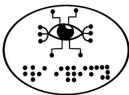
Para asegurar una experiencia accesible y fluida para personas con discapacidad visual, el dispositivo fue diseñado para cambiar automáticamente la salida de audio entre bocinas conectadas al jack de 3.5 mm y audífonos conectados vía USB. Este cambio dinámico se complementa con retroalimentación auditiva utilizando el software espeak-ng, el cual permite sintetizar voz en español latinoamericano.

3.4.1 Objetivo de la configuración

El objetivo es permitir que las bocinas permanezcan conectadas de forma permanente al jack de 3.5 mm y que, al conectar un adaptador de audio USB, el sistema cambia automáticamente la salida de audio a dicho dispositivo, proporcionando una indicación sonora. Al desconectar los audífonos USB, la salida vuelve a las bocinas de forma automática.

3.4.2 Justificación técnica

El jack de 3.5 mm de la Raspberry Pi no tiene capacidad de detección automática de conexión, a diferencia del puerto USB. Por ello, fue necesario desarrollar un sistema de monitoreo que detecte los cambios en los dispositivos de salida y ejecute las acciones correspondientes.



3.4.3 Descripción del script para cambio automático de salida de audio

El script *auto_audio_switch.sh* es un programa en Bash que monitorea continuamente los dispositivos de audio disponibles mediante el comando *pactl list short sinks*. Cuando detecta la conexión o desconexión de un adaptador USB, cambia la salida de audio con *pactl set-default-sink* y reproduce un mensaje con *espeak-ng* indicando el nuevo estado del sistema.

Lógica básica del script:

1. Al iniciar, identifica la salida de audio predeterminada.
2. Cada segundo, verifica si hay un cambio (nuevo dispositivo conectado o desconectado).
3. Si se detecta un dispositivo de audio USB nuevo:
 - Cambia la salida de audio al dispositivo USB.
 - Espera 1.5 segundos para garantizar la activación.
 - Reproduce el mensaje: "*Cambiando a audífonos*" con espeak-ng.
4. Si se detecta su desconexión:
 - Restaura la salida de audio al jack de 3.5 mm.
 - Reproduce el mensaje: "*Cambiando a bocinas*".

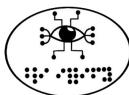
Este script se instala como servicio del sistema con *systemd* para que se ejecute automáticamente al iniciar la Raspberry Pi.

3.4.4 Evaluación del sistema

El sistema de cambio automático de audio fue probado exitosamente durante el desarrollo del dispositivo. Se realizaron varias pruebas de conexión y desconexión de los audífonos USB, confirmando que:

- El cambio de salida de audio se realiza correctamente en cada ocasión.
- El tiempo de respuesta es de aproximadamente 1.5 segundos después de la conexión del dispositivo.
- El sistema se mantiene estable y funcional incluso tras múltiples cambios consecutivos.

La retroalimentación auditiva reproducida por espeak-ng se escucha completa y clara, y el sistema no requiere reinicios ni intervención manual para detectar los dispositivos.



3.5 Programa

3.5.1 Librerías utilizadas

El programa fue desarrollado utilizando Python 3.11.2 en Raspberry Pi OS, haciendo uso de la biblioteca GPIOZero versión 1.6.2, que permite una interacción sencilla y eficiente con los pines GPIO.

3.5.2 Control de hardware

Estas librerías permiten la interacción con los botones físicos y LEDs conectados a la Raspberry Pi, que son esenciales para capturar los puntos Braille y dar retroalimentación visual al usuario:

- from gpiozero import Button:
Permite configurar botones físicos como entradas digitales para detectar pulsaciones en los puntos Braille y funciones adicionales (confirmar, borrar, espacio, modo).
- from gpiozero import LED:
Se usa para activar LEDs conectados a la Raspberry Pi como retroalimentación visual por cada punto Braille presionado.

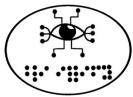
B. Control del flujo y concurrencia

Estas librerías manejan el comportamiento general del programa, asegurando que los eventos se procesen de forma continua y sin interrupciones:

- from signal import pause:
Mantiene el programa en ejecución esperando eventos de los botones, sin necesidad de usar un bucle infinito.
- import threading:
Permite ejecutar tareas en segundo plano, como el monitoreo de modos sin bloquear el funcionamiento principal del programa.
- import time:
Se utiliza para controlar los tiempos entre eventos, como retardos al confirmar un carácter, reproducir un mensaje o evitar rebotes en botones.

C. Interacción con el sistema operativo

- import os:
Permite ejecutar comandos del sistema, especialmente para utilizar el sintetizador de voz espeak-ng, encargado de dar retroalimentación auditiva al usuario.



3.5.3 Pines de Entrada y Salida

Para el funcionamiento del dispositivo traductor de Braille a voz, se utilizaron pines GPIO de la Raspberry Pi 4, conectados a botones físicos, switch y LEDs . Es importante organizar estos pines correctamente para asegurar un funcionamiento estable y seguro del sistema.

Distribución física de pines GPIO en la Raspberry Pi 4 modelo B

Este diagrama muestra la numeración de pines físicos y su correspondencia con los GPIO. La relación entre cada pin y su función específica se detalla en la Tabla. Además permite identificar fácilmente los pines usados para los puntos Braille, funciones de control y retroalimentación visual.

Pines de Entrada y Salida

Para el funcionamiento del dispositivo traductor de Braille a voz, se utilizaron pines GPIO de la Raspberry Pi 4, conectados a botones físicos, switch y LEDs . Es importante organizar estos pines correctamente para asegurar un funcionamiento estable y seguro del sistema.

Distribución física de pines GPIO en la Raspberry Pi 4 modelo B

Este diagrama muestra la numeración de pines físicos y su correspondencia con los GPIO. La relación entre cada pin y su función específica se detalla en la Tabla. Además, permite identificar fácilmente los pines usados para los puntos Braille, funciones de control y retroalimentación visual.

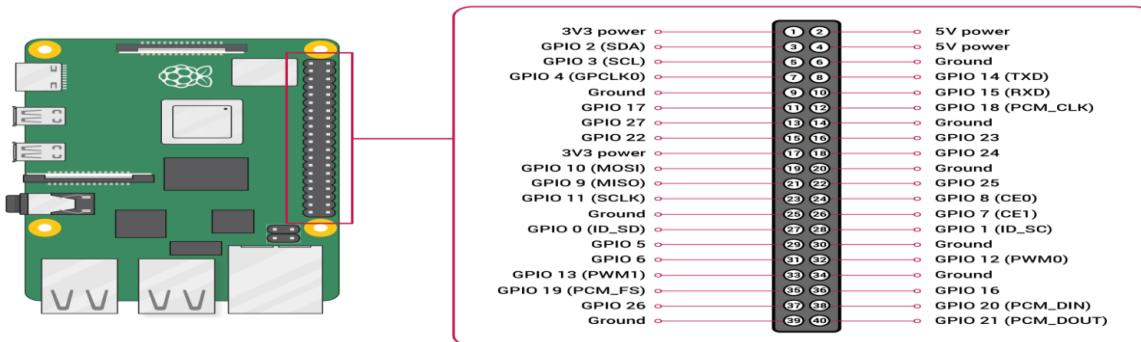


Ilustración 9. Distribución de pines

La tabla (**Tabla 13**) muestra la asignación de pines GPIO en la Raspberry Pi utilizados en el prototipo del traductor Braille a voz. Se especifican las funciones de cada pin, su numeración BCM y física, así como su configuración como entrada (botones y modos) o salida (LEDs de retroalimentación).

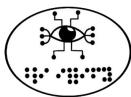


Tabla 13: Distribución de pines

Función	GPIO (BCM)	Pin físico	Tipo
Punto Braille 1	GPIO 17	Pin 11	Entrada
Punto Braille 2	GPIO 27	Pin 13	Entrada
Punto Braille 3	GPIO 22	Pin 15	Entrada
Punto Braille 4	GPIO 23	Pin 16	Entrada
Punto Braille 5	GPIO 24	Pin 18	Entrada
Punto Braille 6	GPIO 25	Pin 22	Entrada
Botón de confirmación	GPIO 8	Pin 24	Entrada
Botón de espacio	GPIO 11	Pin 23	Entrada
Botón de modo números	GPIO 6	Pin 31	Entrada
Botón de modo mayúsculas	GPIO 5	Pin 29	Entrada
Switch de modo lectura	GPIO 10	Pin 19	Entrada
Switch de modo escritura	GPIO 9	Pin 21	Entrada
LED Braille punto 1	GPIO 13	Pin 33	Salida
LED Braille punto 2	GPIO 19	Pin 35	Salida
LED Braille punto 3	GPIO 26	Pin 37	Salida
LED Braille punto 4	GPIO 16	Pin 36	Salida
LED Braille punto 5	GPIO 20	Pin 38	Salida
LED Braille punto 6	GPIO 21	Pin 40	Salida

3.5.4 Diccionario Braille

El sistema traductor de Braille a voz utiliza un diccionario digital que asocia combinaciones de puntos Braille con letras y números. Cada carácter se representa mediante un arreglo de seis valores binarios (0 o 1), que corresponden a los puntos activos de una celda Braille estándar.

Convención de codificación

La celda Braille se compone de seis puntos, numerados del 1 al 6. En el sistema, la codificación (**Tabla 14**) sigue este orden dentro del arreglo:

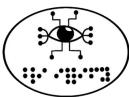


Tabla 14: De codificación Braille

Punto Braille	Posición en celda	Índice en arreglo
Punto 1	Superior izquierdo	0
Punto 2	Medio izquierdo	1
Punto 3	Inferior izquierdo	2
Punto 4	Superior derecho	3
Punto 5	Medio derecho	4
Punto 6	Inferior derecho	5

Ejemplo: la letra “a” se representa como [1, 0, 0, 0, 0, 0], indicando que solo el punto 1 está activo.

Caracteres contemplados

El sistema contempla actualmente los siguientes grupos de caracteres:

- **Letras minúsculas:** a – z
- **Vocales acentuadas:** á, é, í, ó, ú
- **Letra ñ**
- **Letra ü (u con diéresis)**

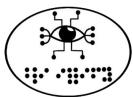
Cada uno de estos caracteres tiene su propia combinación Braille, respetando la normativa del Braille español.

Modos especiales

Para interpretar correctamente diferentes tipos de caracteres, el sistema implementa modos de entrada activables por botones:

- **Modo mayúsculas:** al activarse, la siguiente letra ingresada se interpreta como mayúscula.
- **Modo números:** transforma las combinaciones de letras (a–j) en dígitos (1–0).
- **Modo lectura/escritura:** cambia la función del sistema entre interpretación de caracteres.

Expansión futura



Aunque actualmente no se incluyen signos de puntuación, el sistema está diseñado de manera modular para permitir la integración de signos especiales como signos de interrogación de admiración, comillas, puntos, comas, etc.

Referencia visual

A continuación, se presenta una ilustración (**ILUSTRACION 10**) con el alfabeto Braille español utilizado en el sistema actual:

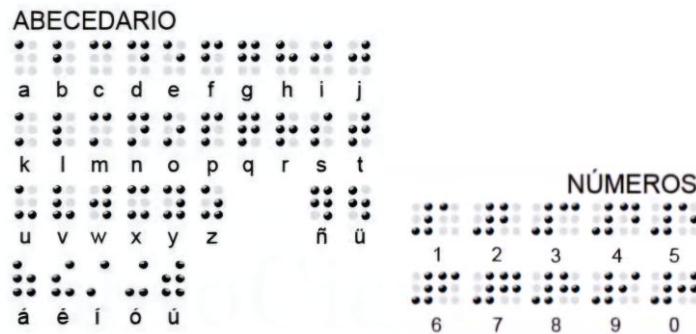


Ilustración 10. Alfabeto en Braille

3.5.5 Funciones de manejo de entradas

El programa cuenta con un conjunto de funciones que permiten procesar las entradas del usuario desde los botones físicos, gestionar modos especiales, validar caracteres en Braille y construir frases.

Gestión del modo de operación

- **monitorear_modo()**

Supervisa continuamente los botones físicos conectados a los modos *lectura* y *escritura*. Si detecta un cambio, actualiza la variable global *modo actual* y reproduce una notificación por voz usando *espeak-ng*. Esta función corre en segundo plano con *threading*.

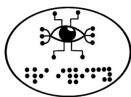
- **obtener_modo()**

Devuelve el modo actual del sistema: '*lectura*', '*escritura*' o '*desconocido*', verificando el estado de los pines correspondientes.

Captura de puntos Braille

- **marcar_punto()**

Se activa al presionar uno de los botones de entrada Braille. Determina la posición lógica del punto dentro de la celda Braille, en función del modo (lectura o escritura), y actualiza el arreglo *estado Braille*. También enciende o apaga el LED correspondiente para brindar retroalimentación visual.



Gestión de modos especiales

- ***alternar_modo_numeros()***
Activa o desactiva el modo de números. Si se activa, desactiva automáticamente el modo mayúsculas. Reproduce un mensaje por voz indicando el cambio.
- ***alternar_modo_mayusculas()***
Activa o desactiva el modo de letras mayúsculas. Si se activa, desactiva el modo números. Solo afecta la interpretación del siguiente carácter ingresado.

Confirmación de caracteres

- ***manejар_confirmacion()***
Controla el proceso de confirmación de caracteres utilizando el botón de “Enter”. Cuenta la cantidad de clics hechos en un tiempo determinado y lanza un temporizador de 0.7 segundos para decidir la acción a ejecutar.
- ***evaluar_clicks()***
Interpreta la cantidad de clics para realizar distintas acciones:
 - **1 clic:** Previsualiza el carácter correspondiente a la combinación Braille actual.
 - **2 clics:** Guarda el carácter previsualizado en la palabra/frase actual.
 - **3 clics:** Reproduce la frase completa formada hasta el momento.

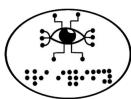
Borrado de caracteres y palabras

- ***manejар_borrado()***
Similar a la confirmación, esta función inicia un temporizador al detectar pulsaciones en el botón de borrado, contabilizando los clics antes de ejecutar la acción correspondiente.
- ***evaluar_borrado()***
Interpreta la cantidad de clics en el botón de borrado:
 - **1 clic:** Borra el último carácter o espacio añadido.
 - **2 clics:** Borra la palabra más reciente.
 - **3 clics:** Borra toda la frase y limpia el contenido actual.

Espaciado entre palabras

- ***agregar_espacio()***
Agrega un espacio a la frase actual y reinicia el arreglo de la palabra. Esta función es útil en el modo escritura para separar palabras al formar frases más largas.

Retroalimentación auditiva



- *reproducir_voz(texto)*

Ejecuta el comando *espeak-ng* con el texto indicado, utilizando voz en español latinoamericano (*es-la*) para dar al usuario una confirmación sonora de sus acciones.

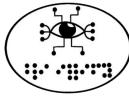
3.5.6 Resumen de pines asociados

A continuación, se presenta una tabla resumen que relaciona cada botón físico con el número de pin GPIO utilizado en la Raspberry Pi, su número de pin físico correspondiente en el conector de 40 pines, y la acción que ejecuta dentro del programa.

Esta tabla permite visualizar rápidamente cómo están distribuidos los botones de entrada y su propósito dentro del dispositivo, lo cual es útil tanto para mantenimiento como para futuras ampliaciones del sistema.

Tabla 15: Pines asociados con botones físicos

Función	GPIO	Pin físico	Acción asociada
Punto Braille 1	17	11	Activa/desactiva punto Braille 1
Punto Braille 2	27	13	Activa/desactiva punto Braille 2
Punto Braille 3	22	15	Activa/desactiva punto Braille 3
Punto Braille 4	23	16	Activa/desactiva punto Braille 4
Punto Braille 5	24	18	Activa/desactiva punto Braille 5
Punto Braille 6	25	22	Activa/desactiva punto Braille 6
Confirmar carácter (Enter)	8	24	Previsualiza, guarda o reproduce carácter/frase
Borrar carácter/palabra/frase	11	23	Borra letra, palabra o toda la frase
Espacio	11	23	Agrega un espacio a la frase
Modo números	6	31	Activa/desactiva modo números
Modo mayúsculas	5	29	Activa/desactiva modo mayúsculas
Modo lectura	10	19	Cambia al modo lectura
Modo escritura	9	21	Cambia al modo escritura



3.6 Funcionamiento general del dispositivo

El siguiente diagrama describe el **flujo de operación del dispositivo Braille a voz**, desde el encendido hasta su apagado. El proceso ha sido dividido en etapas funcionales que reflejan la interacción del usuario con el sistema y el comportamiento lógico del software y hardware integrados.

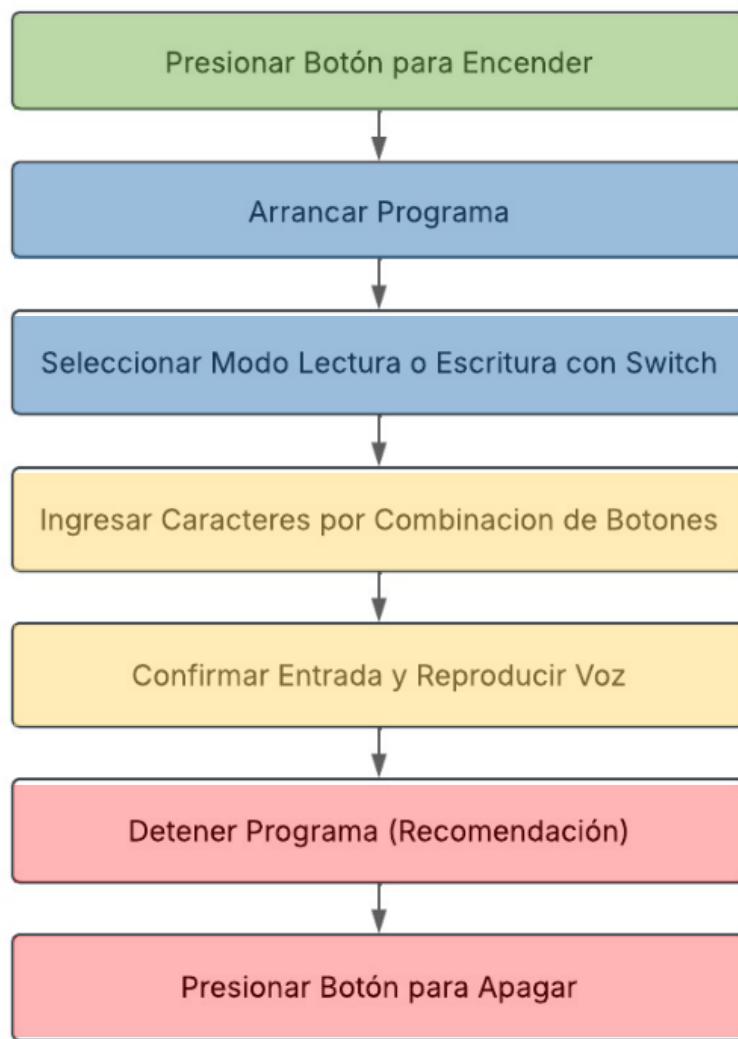
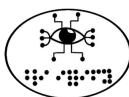


Ilustración 11. Diagrama de Funcionamiento

1. Encendido y arranque del sistema

El dispositivo se activa mediante un botón físico de encendido. Una vez energizada la Raspberry Pi, se debe de iniciar de forma manual el programa de control con ayuda de un mouse y una pantalla, habilitando este los módulos de entrada (botones) y salida (voz).



2. Selección del modo de funcionamiento

El usuario puede seleccionar entre dos modos principales utilizando un interruptor:

Modo Lectura, donde el dispositivo interpreta combinaciones de botones Braille y las convierte en audio.

Modo Escritura, donde se forman palabras carácter por carácter mediante la confirmación de cada letra.

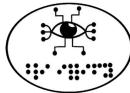
3. Ingreso y procesamiento de caracteres

Una vez elegido el modo, el usuario introduce letras utilizando combinaciones específicas de botones que representan los puntos del sistema Braille. Al presionar el botón de confirmación, el sistema procesa la entrada y genera la salida de voz correspondiente a través del sintetizador espeak-ng.

4. Finalización del uso

Para finalizar el uso, se recomienda detener el programa desde el sistema antes de apagar el dispositivo. Finalmente, el usuario puede presionar el botón de apagado para interrumpir la alimentación de manera segura.

Este esquema de funcionamiento garantiza una interacción intuitiva, accesible y eficiente para personas con discapacidad visual, cumpliendo con los principios de diseño centrado en el usuario.



3.7 Lógica simplificada del programa Brailly

La siguiente ilustración representa la versión simplificada del flujo lógico del programa principal implementado en el dispositivo *Braillify*. Este diagrama permite comprender de manera general el comportamiento del sistema, desde la selección del modo de uso hasta la construcción de frases y su reproducción por voz.

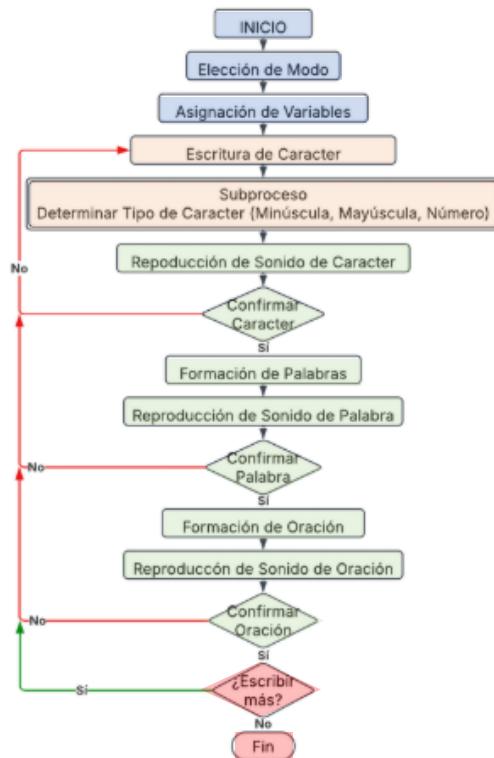


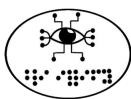
Ilustración 12. Diagrama de programación simplificado

1. Inicio y configuración

- Presionar botón para encender: activa la alimentación del sistema.
- Arrancar programa: se ejecuta el código en la Raspberry Pi por el usuario de forma manual, inicializando variables y periféricos.
- Seleccionar modo de lectura o escritura con switch: el usuario define el tipo de operación mediante un interruptor físico.

2. Ingreso de caracteres

- Ingresar caracteres por combinación de botones: el usuario presiona las combinaciones Braille correspondientes para formar una letra.
- Subproceso: determinar tipo de carácter (minúscula, mayúscula, número): el sistema evalúa el estado de los botones “Mayúsculas” o “Números” para clasificar el tipo de entrada.



3. Confirmación y reproducción

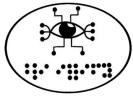
- Confirmar entrada y reproducir voz: al presionar el botón “Aceptar”, el carácter ingresado es procesado y convertido a audio mediante el sintetizador de voz.
- El proceso se repite progresivamente para formar palabras y luego oraciones, siempre con una opción de confirmación entre cada etapa.

4. Finalización o corrección

- Detener programa (opcional): antes de apagar, puede finalizarse el código manualmente.
- Presionar botón para apagar: corta la alimentación del sistema.
- Si en cualquier momento no se confirma una entrada, el sistema permite la corrección del carácter, palabra u oración antes de avanzar.

Nota: El diagrama presentado corresponde a una versión simplificada para facilitar su interpretación.

El diagrama completo, con todos los subprocessos y botones involucrados, puede consultarse en el Anexo X de este documento.



CAPÍTULO 4: PRUEBAS Y FUNCIONAMIENTO

4.1 Pruebas de componentes individuales

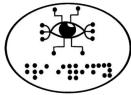
Con el objetivo de validar el funcionamiento completo del prototipo *Traductor Braille a Voz*, se llevaron a cabo una serie de pruebas individuales y de integración que abarcan tanto los aspectos electrónicos como los de programación y salida de audio. A continuación, se describen las principales pruebas realizadas, los resultados obtenidos, los problemas encontrados y las soluciones aplicadas. A continuación, se enlistan las diferentes pruebas realizadas.

- **Prueba 1:** Encendido de LED con botón.
- **Prueba 2:** Botón y switch para encender LEDs.
- **Prueba 3:** Cambio de salida de audio.
- **Prueba 4:** Reproducción de voz con librería eSpeak.
- **Prueba 5:** Generación de letras mediante combinaciones de botones.
- **Prueba 6:** Formación de palabras y frases.
- **Prueba 7:** Modo números y función de borrado.
- **Prueba 8:** Letras acentuadas y mayúsculas.
- **Prueba 9:** Visualización con LEDs de las combinaciones presionadas.
- **Prueba 10:** Sonido con bocinas internas y externas.
- **Prueba 11:** Prueba de integración sin carcasa (programa completo).

Conclusión de las Pruebas

Las pruebas realizadas permitieron validar el correcto funcionamiento del prototipo en sus diferentes módulos: entradas por botones, retroalimentación visual con LEDs, procesamiento de combinaciones, reproducción de voz, y salidas de audio. Aunque se identificaron limitaciones en el volumen de las bocinas internas, se resolvió provisionalmente mediante bocinas externas para fines de demostración.

Para más información técnica y visual de cada prueba, donde se incluyen los formatos detallados y evidencia fotográfica, consultar el ANEXO H.



Conclusiones

A lo largo del desarrollo de este proyecto, como equipo nos dimos cuenta de la importante necesidad social que existe respecto al acceso a dispositivos tecnológicos diseñados específicamente para personas con discapacidad visual, en especial para el aprendizaje del sistema Braille. Esta problemática nos motivó a diseñar y fabricar un prototipo funcional, de bajo costo y fácil uso, que pudiera representar una solución accesible para entornos educativos y comunitarios.

Durante el proceso, desarrollamos diversas actividades que integraron conocimientos técnicos como programación, electrónica, impresión 3D, diseño estructural, cálculos eléctricos y documentación técnica. Además, trabajamos de manera colaborativa, distribuyendo responsabilidades y manteniendo una comunicación constante, lo que permitió un avance ordenado y eficiente. Este proyecto no solo nos ayudó a reforzar nuestras habilidades como futuros ingenieros, sino que también fortaleció nuestra capacidad de trabajo en equipo y nuestro compromiso con el diseño de soluciones que generen un impacto positivo en la sociedad.

Cerrillo Martínez Mauricio Enrique

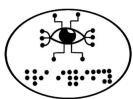
Durante el desarrollo de este proyecto, pude aplicar y reforzar diversos conocimientos adquiridos a lo largo de mi carrera. Me enfoqué principalmente en el análisis de costos, donde realicé el desglose detallado del desarrollo tecnológico, materiales, gastos indirectos y el costo total del prototipo. Esta parte me permitió comprender mejor la importancia de una buena planeación financiera en proyectos de ingeniería, ya que cualquier descuido puede afectar directamente la viabilidad del producto.

Además, participé en investigaciones pedagógicas que me ayudaron a entender el impacto que puede tener nuestro dispositivo en su entorno educativo y social, lo cual enriqueció la visión integral del proyecto, más allá de lo técnico. También colaboré activamente en la elaboración del manual de mantenimiento y en la redacción del reporte final, actividades que me enseñaron la importancia de documentar adecuadamente cada proceso, para asegurar tanto la continuidad como la funcionalidad del dispositivo en el futuro.

Este proyecto me dejó aprendizajes valiosos en trabajo en equipo, responsabilidad y aplicación real de conocimientos, pero sobre todo me permitió darme cuenta de que un ingeniero no solo diseña o construye, también analiza, comunica y busca que su trabajo tenga un impacto positivo.

Pérez Santillán Ernesto Carlos

A lo largo del desarrollo de este proyecto, fortalecí significativamente mi capacidad para trabajar bajo presión y gestionar el cumplimiento de objetivos dentro de los plazos establecidos. Esta experiencia me permitió adquirir y aplicar herramientas clave como la elaboración del despliegue de la función de calidad (QFD), así como la realización de cálculos técnicos relacionados con potencia, consumo de corriente y tiempo estimado de operación del dispositivo. También avancé en mis conocimientos de programación básica



utilizando Python, lo cual representó un reto personal, ya que no tenía experiencia previa con este lenguaje. A través de la práctica, la colaboración con mis compañeros y el uso de recursos didácticos, logré implementar correctamente las funciones necesarias para el prototipo.

Más allá del crecimiento técnico, este proyecto también representó una oportunidad valiosa para el desarrollo personal. Aprendí a ser más tolerante, empático y comprensivo con mis compañeros, especialmente cuando enfrentamos situaciones imprevistas como enfermedades o accidentes. Estas circunstancias nos recordaron que todos estamos expuestos a eventos fuera de nuestro control, y fue precisamente en esos momentos cuando el compromiso, el respeto y el apoyo mutuo fueron fundamentales para mantener la motivación del equipo y asegurar que el proyecto avanzara de la mejor manera posible. Estoy convencido de que este tipo de experiencias no solo forman mejores profesionistas, sino también mejores personas.

Torres Romero José Ángel

Es importante saber integrar todos nuestros conocimientos para proyectos de esta magnitud, por ello después de lograr el objetivo impuesto por el equipo y los profesores se ha llegado a valorar aún más todos los saberes que se han recopilado a lo largo de estos años.

Gracias a este proyecto tengo un dominio mayor de todos los elementos que tienen que ver con diseño en 3D e impresión 3D, además del dominio de SolidWorks y diseño en canva

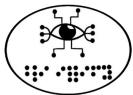
Ramírez Galván Manuel

Este proyecto me permitió integrar y desarrollar los conocimientos y habilidades adquiridas a lo largo de la carrera. Considero que no se trata de un trabajo realizado solo en un semestre, sino del resultado de un proceso que comenzó desde el primer semestre: adquirir nuevos conocimientos, aplicarlos de forma práctica, resolver problemas similares que fortalecieron mis capacidades, y fortalecer valores como la responsabilidad, la paciencia y la perseverancia. Sin todo ello, el resultado habría sido muy distinto.

Durante el desarrollo del proyecto surgieron diversos inconvenientes, pero ninguno fue suficiente para detenerme. Siempre tuve claro el objetivo que debía alcanzar, y me siento agradecido por haberlo logrado. Es verdaderamente gratificante desarrollar un proyecto por uno mismo.

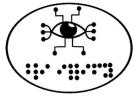
Flores González Jesús Ricardo

Durante el transcurso de este proyecto, comprendí el verdadero valor del trabajo colaborativo. Me di cuenta de que sacar adelante un proyecto de esta magnitud sería prácticamente imposible de manera individual, pero gracias al apoyo, compromiso y esfuerzo de mis compañeros, logramos avanzar en cada etapa asignada. En el proceso, adquirí diversas habilidades que fortalecerán mi formación profesional, entre ellas, el uso eficiente de herramientas de Office, la lectura y comprensión de artículos técnicos, así como la optimización del tiempo para cumplir puntualmente con reportes y tareas asignadas por el equipo.



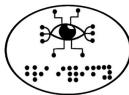
Además, mejoré mis capacidades para hablar en público y comunicar claramente lo que estamos desarrollando, incluso ante personas que no conocen el tema. Desde una perspectiva emocional, este proyecto me permitió reflexionar sobre la importancia de la inclusión y sobre la necesidad de generar oportunidades reales para personas con discapacidad visual. Nuestro objetivo no solo fue técnico, sino también humano: facilitar el aprendizaje del Braille y contribuir, desde nuestra formación como ingenieros, a mejorar la vida de quienes enfrentan barreras cotidianas.

Estoy profundamente agradecido de haber sido parte de un proyecto que busca ayudar a los demás. Me llena de satisfacción saber que nuestros conocimientos pueden tener un impacto real en la sociedad. Si este dispositivo llega a inspirar a más personas, si alguien decide retomarlo y mejorarlo, o si logra ser útil para quien más lo necesita, entonces sabremos que nuestro esfuerzo valió la pena.

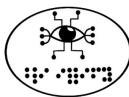


Referencias.

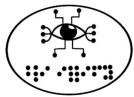
- [1]. Almeida, G., & Daudén, A. (2022). *Criterios pedagógicos para la enseñanza del braille a los niños ciegos*. Grupo Social ONCE. <https://www.once.es/servicios-sociales/braille/consejo-iberoamericano/criterios-pedagogicos-para-la-ensenanza-del-braille-a-los-ninos-ciegos/%40%40download/file/02%20-%20Criterios%20pedag%C3%B3gicos%20para%20la%20ense%C3%A1nza%20de%20braille%20a%20los%20ni%C3%B3os%20ciegos.pdf>
- [2]. Comisión Braille Española, García Soria, F., & Prieto, P. (2023). *25.2 Sistema Braille*. ONCE. <https://www.once.es/servicios-sociales/braille/comision-braille-espanola/documentos-tecnicos/documentos-tecnicos-relacionados-con-el-braille/documentos/b2-signografia-basica-lenguas-cooficiales>
- [3]. Decreto por el que se reforman diversas disposiciones de la Ley General de Educación, en materia de educación inclusiva para personas con discapacidad. (2024). *Diario Oficial de la Federación*. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5729932&fecha=07%2F06%2F2024
- [4]. Garduño, M. (2021). *Estudiantes del Tec de Monterrey crean dispositivo para traducir el lenguaje braille a sonido*. Forbes México. <https://forbes.com.mx/tecnologia-estudiantes-tec-monterrey-dispositivo-traducir-lenguaje-braille-sonido/>
- [5]. Helen Keller Services. (2023). *A review of the Orbit Reader 40*. <https://www.helenkeller.org/a-review-of-the-orbit-reader-40/>
- [6]. ISO/IEC. (2023). *ISO/IEC 24751-4:2023*. <https://www.iso.org/standard/82901.html>
- [7]. LEY General para la Inclusión de las Personas con Discapacidad. (2011). *Cámara de Diputados*. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGIPD.pdf>
- [8]. Manzanelli. (2023). *ISO 25010: Mejora calidad y satisfacción del usuario en software*. <https://normasiso.org/norma-iso-25010/#:~:text=La%20norma%20ISO%2025010%20es,la%20eficiencia%20en%20su%20uso>
- [9]. Manzanelli. (2023). *La norma ISO 9241 y su impacto en la experiencia del usuario*. <https://normasiso.org/norma-iso-9241/>
- [10]. New York Public Library. (2021). *El origen del Braille*. <https://www.nypl.org/blog/2021/01/04/el-origen-del-braille>
- [11]. NOM-001-SCFI-2018. (2018). *NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SCFI-2018, Aparatos electrónicos-Requisitos de seguridad y métodos de prueba*. Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/7880/seeco11_C/seeco11_C.html
- [12]. ONCE. (2023). *El Braille*. <https://www.once.es/servicios-sociales/braille>
- [13]. Paneva, V., Seinfeld, S., Kraiczi, M., & Müller, J. (2020). *HaptiRead: Reading Braille as Mid-Air Haptic Information*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2005.06292>



- [14]. Plan de estudio para la formación docente, Braille: bases para su enseñanza y aprendizaje. (2022). *Dirección General de Educación Superior para el Magisterio*. <https://dgesum.sep.gob.mx/storage/recursos/planes2022/h5Q7z8QE8p-4618.pdf>
- [15]. Saad, M. (n.d.). *El sistema braille*. Universidad Autónoma de Querétaro. <https://www.uaq.mx/ingenieria/publicaciones/eure-uaq/n13/en1307.pdf>
- [16]. SMART Brailler from Perkins. (2025). *Perkins School for the Blind*. <https://brailler.perkins.org/pages/smart-brailler>
- [17]. Urrutia, Y. P. (2022). *Métodos de enseñanza sistema Braille*. <https://padlet.com/yeimiparraj/m-todos-de-ense-anza-sistema-braille-ufummq2h3gfh641t>
- [18]. Zagler, W. L., Treml, M., Busse, D., Busboom, M., & Deák, I. (2018). BrailleRing: The shortest long Braille-display in the world – A review of the state-of-the-art and a new approach. In K. Miesenberger et al. (Eds.), *Lecture Notes in Computer Science* (pp. 313–321). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-94274-2_43
- [19]. Diego-Mas, Jose Antonio. Evaluación postural mediante el método RULA. Ergonautas, Universidad Politécnica de Valencia, 2015. [consulta 28-02-2025]. Disponible online: <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/rula/rula-ayuda.php>
- [20]. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). (s.f.). Evaluación de tareas repetitivas: Aplicación del método OCRA y RULA. Gobierno de España. Recuperado el 2 de marzo de 2025, de https://www.insst.es/documents/94886/509319/Tareas+repetitivas+2_evaluacion.pdf/5a8f09f0-6ebf-406d-be55-36ca53c4e18d
- [21]. Durgun, I., & Ertan, R. (2014). Experimental investigation of FDM process for improvement of mechanical properties and production cost. *Rapid Prototyping Journal*, 20(3), 228–235. <https://doi.org/10.1108/RPJ-10-2012-0091>
- [22]. Dinwiddie, R. B., et al. (2014). Infrared imaging of the polymer 3D-printing process. In F. P. Colbert & S.-J. Hsieh (Eds.), *Thermosense: Thermal Infrared Applications XXXVI* (Vol. 9105). SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.2051436>
- [23]. Letcher, T., & Waytashek, M. (2014). Material property testing of 3D-printed specimen in PLA on an entry-level 3D printer. In *Volume 2A: Advanced Manufacturing*. American Society of Mechanical Engineers (ASME). <https://doi.org/10.1115/IMECE2014-38842>
- [24]. Ngo, T. D., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K. T., & Hui, D. (2018). Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Composites Part B: Engineering*, 143, 172–196. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.02.012>
- [25]. Sood, A. K., Ohdar, R., & Mahapatra, S. S. (2010). Parametric appraisal of mechanical property of fused deposition modelling processed parts. *Materials & Design*, 31(1), 287–295. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2009.06.016>
- [26]. Song, Y., Li, Y., Song, W., Yee, K., Lee, K.-Y., & Tagarielli, V. L. (2017). Measurements of the mechanical response of unidirectional 3D-printed PLA. *Materials & Design*, 123, 154–164. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.03.051>



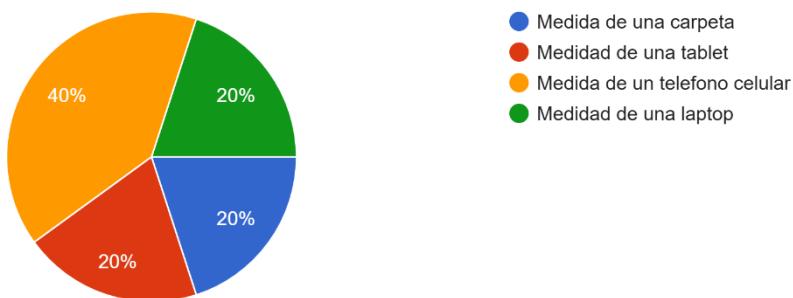
- [27]. Shilpesh, S. R., & Harshit, D. K. (2018). Effect of process parameters on tensile strength of FDM printed PLA part. *Rapid Prototyping Journal*, 24(8), 1317–1324. <https://doi.org/10.1108/RPJ-05-2017-0081>
- [28]. Singh, R., & Garg, H. K. (2016). Fused deposition modeling—a state of art review and future applications. In *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.04090-4>
- [29]. Wang, X., Jiang, M., Zhou, Z., Gou, J., & Hui, D. (2017). 3D printing of polymer matrix composites: A review and prospective. *Composites Part B: Engineering*, 110, 442–458. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.11.034>
- [30]. Yao, T., Deng, Z., Zhang, K., & Li, S. (2019). A method to predict the ultimate tensile strength of 3D printing polylactic acid (PLA) materials with different printing orientations. *Composites Part B: Engineering*, 163, 393–402. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.12.118>



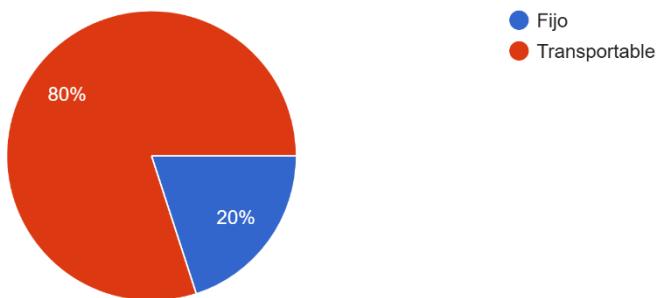
ANEXOS

ANEXO A: Encuestas para alumnos

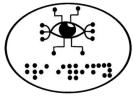
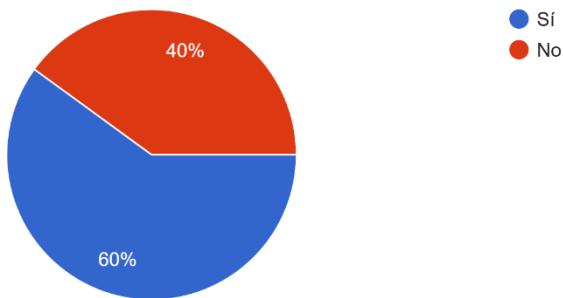
1. ¿Cuáles son las medidas que te parecen óptimas para un teclado con 6 teclas?



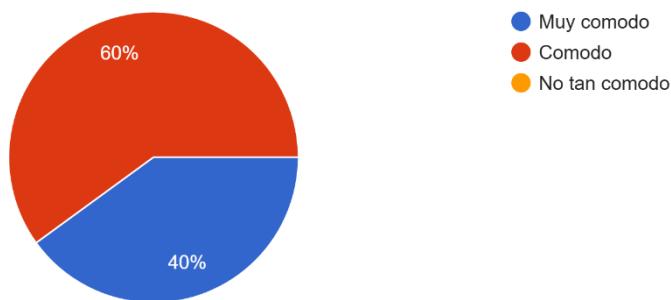
2. ¿Prefieres un dispositivo instalado o transportable?



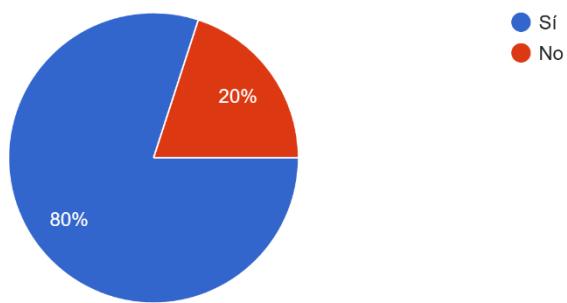
3. ¿Necesita compatibilidad con otros dispositivos, como computadoras o teléfonos?



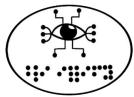
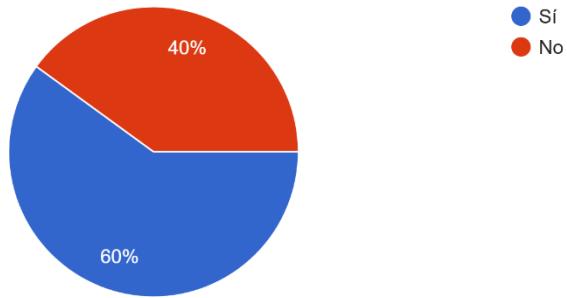
4. ¿Qué tan cómodo es para usted usar los botones físicos?



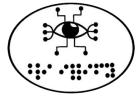
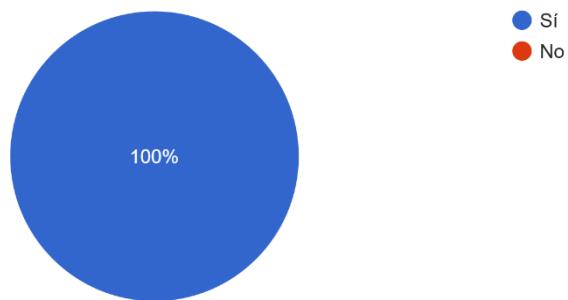
5. ¿Te gustaría que los botones hagan ruido al teclear?



6. ¿Te gustaría que los botones tengan textura para diferenciarlos?

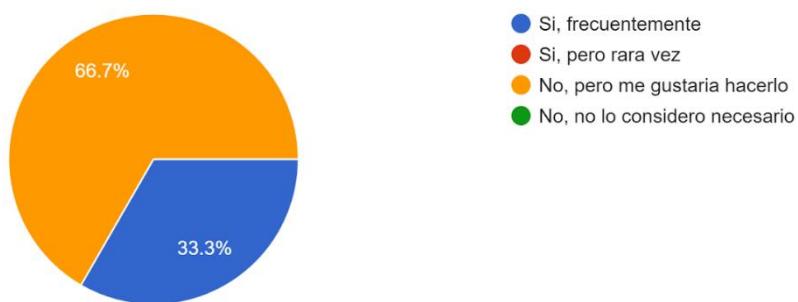


7. ¿Le gustaría poder conectar audífonos para escuchar la salida de voz de manera privada?

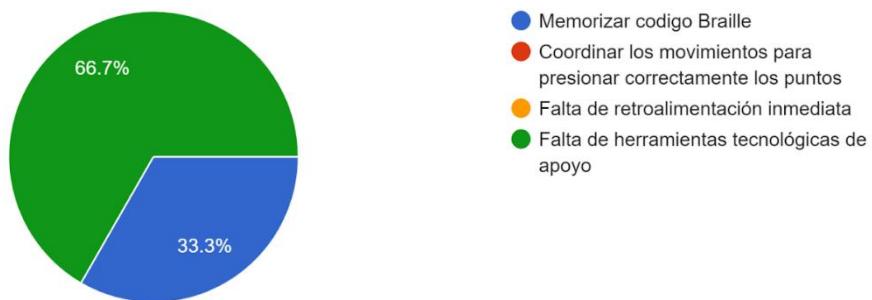


ANEXO B: Encuestas para profesores que imparten braille

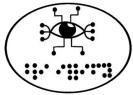
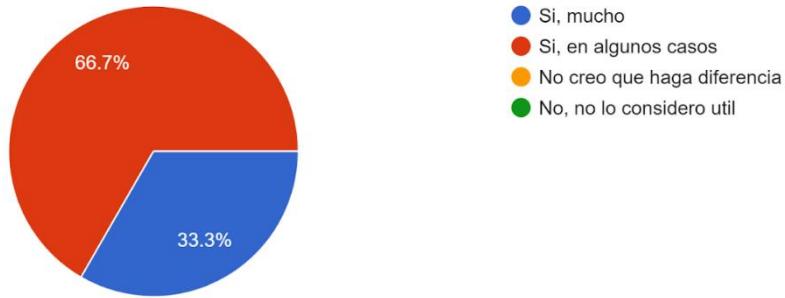
1. ¿Actualmente utilizan algún dispositivo tecnológico para enseñar Braille?



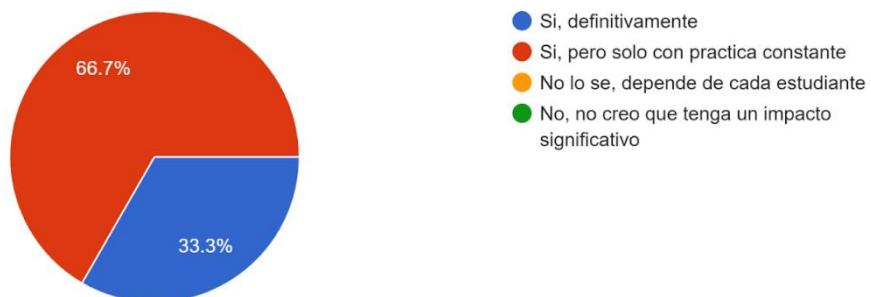
2. ¿Cuáles considera que son las principales dificultades que enfrentan los estudiantes al escribir Braille?



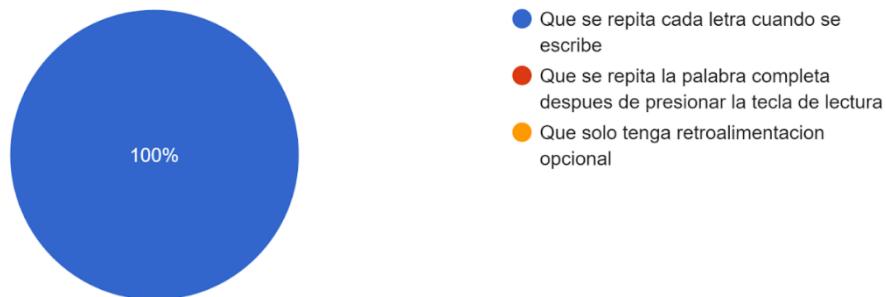
3. ¿Cree que un traductor de Braille a voz podría ser útil en la enseñanza?



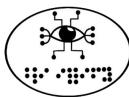
4. ¿Cree que este dispositivo ayudaría a los estudiantes a mejorar su aprendizaje al escribir en Braille?



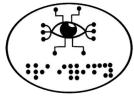
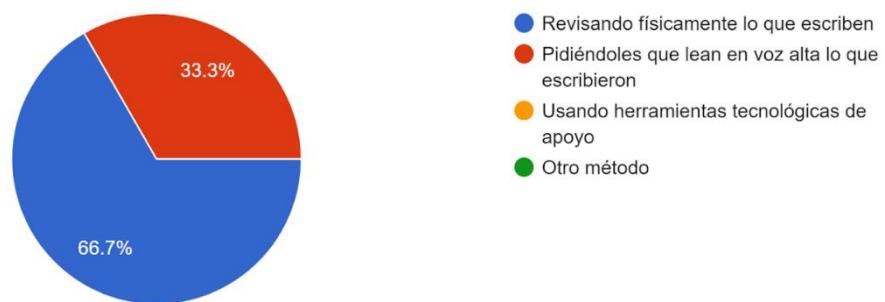
5. ¿Qué tipo de retroalimentación cree que sería más útil para los estudiantes?



6. ¿Qué tan fácil cree que sería para los estudiantes adaptarse al uso de este dispositivo?



7. ¿Cómo evalúa actualmente la escritura en Braille de sus estudiantes?



ANEXO C: Despliegue de la función de calidad (QFD)

La ilustración muestra la matriz QFD utilizada para alinear las necesidades del usuario con las características técnicas del dispositivo. Permite priorizar funciones clave como portabilidad, facilidad de uso y compatibilidad, comparando además el rendimiento del diseño frente a dispositivos similares.

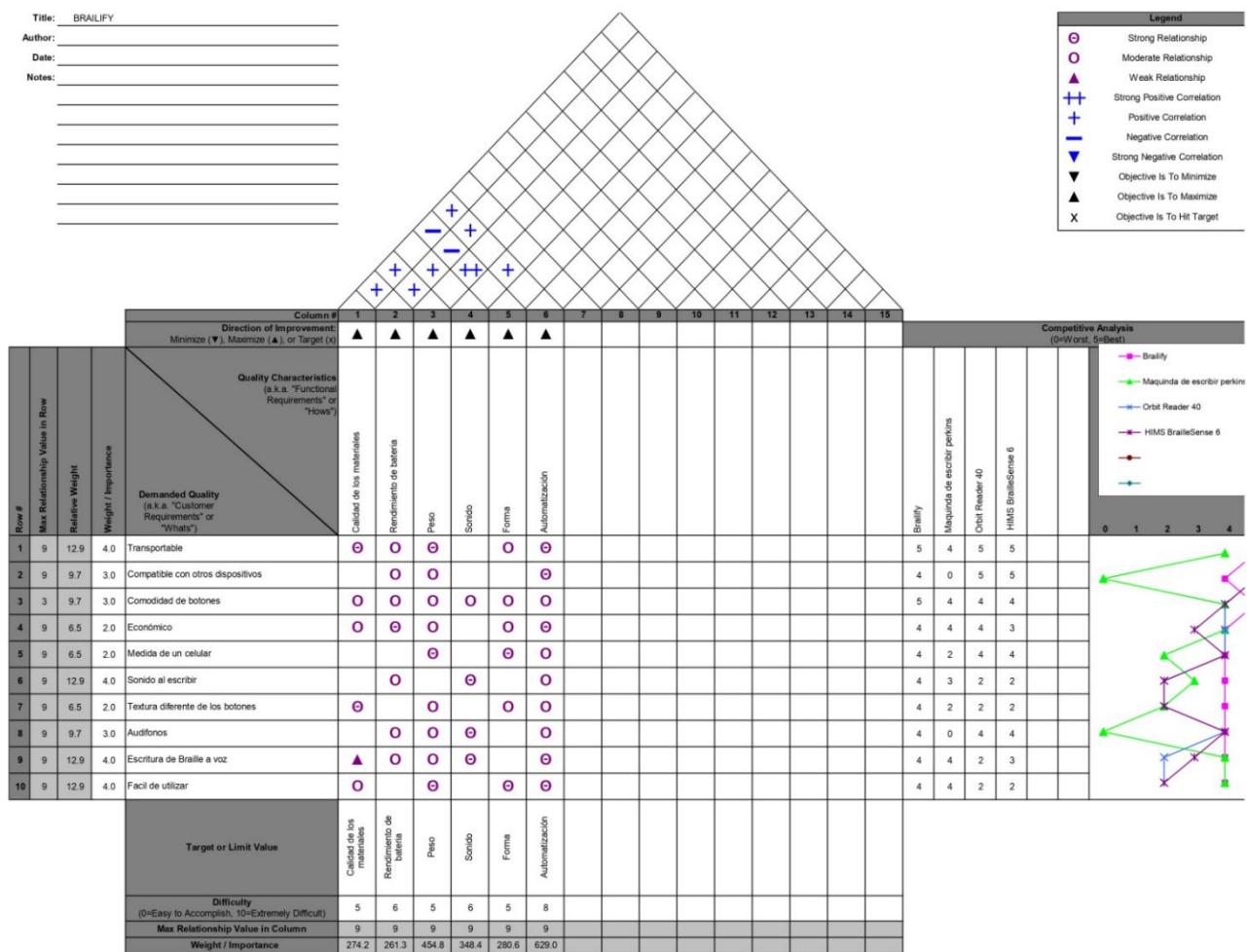
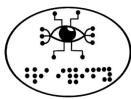


Ilustración 13. Despliegue de funciones calidad

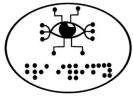


ANEXO D: Costos estimados

Desglose de costo del producto.

Tabla 16: Costos del producto

MATERIA PRIMA				
Elemento	Tipo	Costo Unitario (MXN)	Unidades	Costo real
Filamento PLA ORO	Material	\$ 244.50	1	\$ 244.50
Filamento PLA Bronce	Material	\$ 244.50	1	\$ 244.50
Impresora 3D diseño	Maquinaria	\$ 1,515.88	5	\$ 7,579.40
Raspberry PI 4	Material	\$ 2,026.00	1	\$ 2,026.00
Correa Sujeción	Material	\$ 12.00	1	\$ 12.00
Transistores	Material	\$ 22.00	5	\$ 110.00
Amplificadores	Material	\$ 90.00	2	\$ 180.00
Cargador	Material	\$ 70.00	1	\$ 70.00
Leds	Material	\$ 40.00	6	\$ 240.00
Mini Proto	Material	\$ 20.00	1	\$ 20.00
Potenciómetro	Material	\$ 11.00	1	\$ 11.00
Interruptor	Material	\$ 30.00	2	\$ 60.00
Botones	Material	\$ 10.00	10	\$ 100.00
Batería	Material	\$ 372.00	1	\$ 372.00
Optoacoplador	Material	Donativo	1	0.00
Subtotal				\$11,269.40



Desglose de gastos indirectos

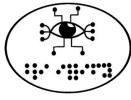
Tabla 17: Gastos indirectos

GASTOS INDIRECTOS				
Elemento	Tipo	Costo Unitario	Unidades	Costo Real
Hospedaje	Renta	\$ 4,000.00	1.00	\$4,000.00
Comida		\$ 275.00	3.00	\$825.00
Equipo de trabajo	Ropa	\$ 210.00	5.00	\$1,050.00
Logística	Transporte	\$ 82.00	60.00	\$4,920.00
			Subtotal	\$10,795.00

Desglose de costos de mano de obra

Tabla 18: Desarrollo tecnológico

ESTIMADO DE COSTOS DE MANO DE OBRA						
Personal	Tipo	HRS	Días	Semanas	Costo Unitario	Costo Real
Programador Junior	Programación	4.00	5.00	12.00	\$184.15	\$44,196.00
Ensamblador	Mecatrónica	4.00	5.00	12.00	\$76.18	\$18,283.20
po	Encargado	4.00	5.00	1.00	\$1,970.64	\$39,412.88
Administrativo	Administrativo, contable	4.00	5.00	32.00	\$156.95	\$100,448.00
Contable	Administrativo	3.00	5.00	32.00	\$156.95	\$75,336.00



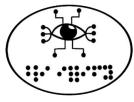
ANEXO E: Diagrama de Gantt

Para consultar el diagrama de Gantt completo del proyecto, favor de escanear el siguiente código QR.

Debido a la extensión del archivo, no se incluye directamente en este documento.



Ilustración 14. Código QR para el diagrama de Gantt



ANEXO F: Metodología en V

La ilustración representa la metodología en V aplicada en el desarrollo del dispositivo *Braillify*. Esta metodología muestra de forma estructurada la relación entre las fases de diseño (lado izquierdo), la implementación (parte inferior) y las etapas de validación y prueba (lado derecho). Cada fase de desarrollo tiene una etapa de validación correspondiente, lo que permite asegurar la calidad y funcionalidad del sistema en cada nivel antes de su entrega final.

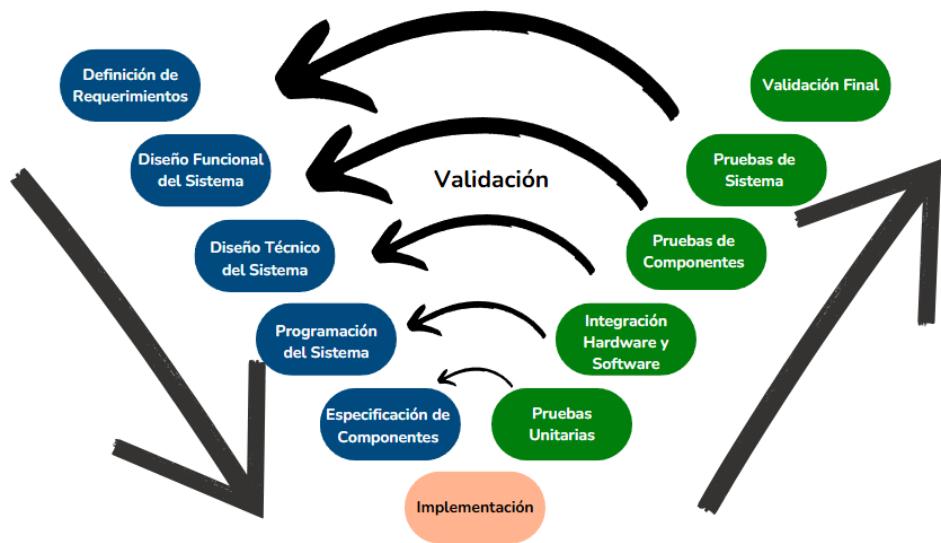
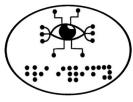


Ilustración 15. Diagrama metodología en V



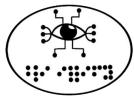
ANEXO G: Diagrama de programación

Para consultar el diagrama de programación completo del proyecto, favor de escanear el siguiente código QR.

Debido a la extensión del archivo, no se incluye directamente en este documento.



Ilustración 16. Código QR para diagrama de programación

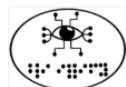


ANEXO H: Pruebas de componentes individuales

Prueba 1: Encendido de LED con botón

Se conectó un botón a un LED para verificar la correcta lectura digital por parte de la Raspberry Pi. Al presionar el botón, el LED se encendió correctamente, confirmando que el sistema capta adecuadamente la señal de entrada.

Resultado: Aprobado.

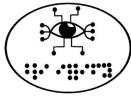
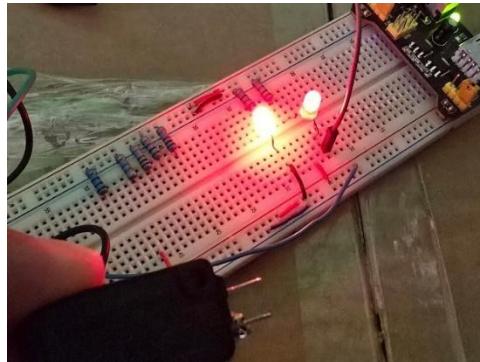


Braillify

braillify@gmail.com

Aplicación de Prueba	Prototipo de Traductor Braille a Voz	Nombre	Manuel Ramírez Galván
Número de Prueba	1	Fecha de Prueba	16/04/2025

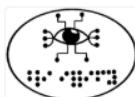
Información de Prueba						
Historia de Usuario	Prueba de botón individual	Pre-requisitos	Protoboard, botón, fuente externa, leds			
Localización	Edificio T - UASLP	Dependencias	Fuente funcional, circuito armado			
Configuración Requerida	Conexión de botón con led					
Resumen de Resultados						
Se hace el correcto encendido del led con el botón						
Detalles de Resultados						
Entrada del Usuario	Esperado	Obtenido	Aprobado/Fallido			
1. Presionar el botón	Encender led	Encendió led	<input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="radio"/> Fallido			
Flujo Alternativo						
Entrada del Usuario	Esperado	Obtenido	Aprobado/Fallido			
1. No aplica			<input type="radio"/> Aprobado <input type="radio"/> Fallido			



Prueba 2: Botón y switch para encender LEDs

Se incluyó un switch para controlar el estado de los LEDs junto con un botón. Ambos elementos funcionaron correctamente y permitieron el encendido de los LEDs como se esperaba.

Resultado: Aprobado.

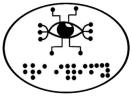
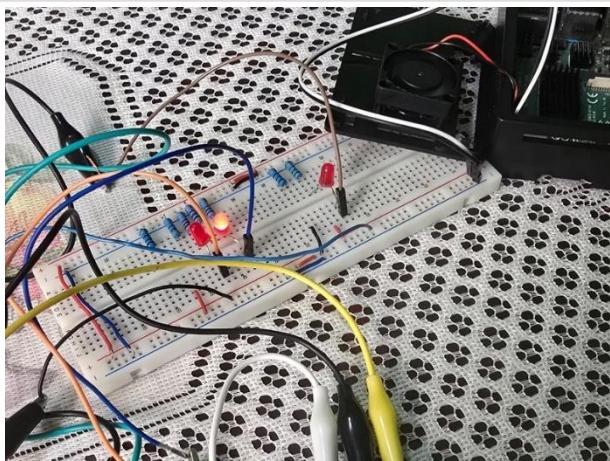


Braillify

braillify@gmail.com

Aplicación de Prueba	Prototipo de Traductor Braille a Voz	Nombre	Manuel Ramírez Galván
Número de Prueba	2	Fecha de Prueba	17/04/2025

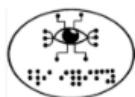
Información de Prueba						
Historia de Usuario	Prueba de botón y switch individual	Pre-requisitos	Protoboard, botón, alimentación de Raspberry, leds			
Localización	Edificio T - UASLP	Dependencias	Conexiones de Raspberry, circuito armado			
Configuración Requerida	Conexión de botón y switch con leds					
Resumen de Resultados						
Se hace el correcto encendido de los leds con el botón y el switch						
Detalles de Resultados						
Entrada del Usuario	Esperado	Obtenido	Aprobado/Fallido			
1. Presionar el botón, mover posición de switch	Encender leds	Encendieron leds	<input checked="" type="radio"/> Aprobado <input type="radio"/> Fallido			
Flujo Alternativo						
Entrada del Usuario	Esperado	Obtenido	Aprobado/Fallido			
1. No aplica			<input type="radio"/> Aprobado <input type="radio"/> Fallido			



Prueba 3: Cambio de salida de audio

Se probó el cambio automático entre salida de audio por bocinas y audífonos. Al conectar/desconectar audífonos, el sistema cambió correctamente la salida sin necesidad de reiniciar.

Resultado: Aprobado.



Braillify

braillify@gmail.com

Aplicación de Prueba	Prototipo de Traductor Braille a Voz	Nombre	Manuel Ramírez Galván
Número de Prueba	3	Fecha de Prueba	17/04/2025

Información de Prueba			
Historia de Usuario	Prueba de cambio de salida de sonido	Pre-requisitos	Raspberry, pantalla, teclado, mouse
Localización	Edificio T - UASLP	Dependencias	Entorno abierto de Raspberry
Configuración Requerida	Abrir scripts para configurar		

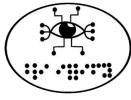
Resumen de Resultados

Se hace el correcto cambio de sonido de salida de audio al conectar y desconectar audífonos

Detalles de Resultados			
Entrada del Usuario	Esperado	Obtenido	Aprobado/Fallido
1. Conectar y desconectar audífonos	Cambio en la salida de audio	Cambiaron las salidas de audio	<input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Fallido

Flujo Alternative

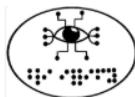
Prueba Alternativa			
Entrada del Usuario	Esperado	Obtenido	Aprobado/Fallido
1. No aplica			<input type="radio"/> Aprobado <input type="radio"/> Fallido



Prueba 4: Reproducción de voz con librería eSpeak

Se verificó la instalación y ejecución de la librería espeak-ng para reproducción de letras y palabras. Los comandos ejecutados reproducían correctamente el texto en voz.

Resultado: Aprobado.



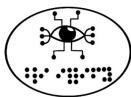
Braillify

braillify@gmail.com

Aplicación de Prueba	Prototipo de Traductor Braille a Voz	Nombre	Manuel Ramírez Galván
Número de Prueba	4	Fecha de Prueba	17/04/2025

Información de Prueba						
Historia de Usuario	Prueba de "espeak" librería de voces	Pre-requisitos	Raspberry, pantalla, teclado, mouse, instalar la librería espeak ng			
Localización	Edificio T - UASLP	Dependencias	Entorno abierto de Raspberry con terminal			
Configuración Requerida	Utilizar comandos para instalar y probar la librería con diferentes letras y palabras					
Resumen de Resultados						
Se hace prueba de reproducción de letras y palabras						
Detalles de Resultados						
Entrada del Usuario	Esperado	Obtenido	Aprobado/Fallido			
1. Comandos con lo que se quiere reproducir	Reproducción de lo escrito	Se reprodujo lo escrito	<input checked="" type="radio"/> Aprobado <input type="radio"/> Fallido			
Flujo Alternativo						
Entrada del Usuario	Esperado	Obtenido	Aprobado/Fallido			
1. No aplica			<input type="radio"/> Aprobado <input type="radio"/> Fallido			

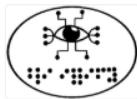
```
Configurando espeak-ng (1.51-dfsg-19+deb12u2) ...
Procesando disparadores para man-db (2.11.2-2) ...
Procesando disparadores para libc-bin (2.36-0+rpt2+deb12u9) ...
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es "Hola mundo"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-la "Hola mundo"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-es "manuel"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-la "manuel"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-es "manny"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-la "manny"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-es "richy"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-la "richy"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-es "mau"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-la "mau"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-es "charly"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-la "charly"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-es "manu"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-la "manu"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-es "t"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-la "t"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-es "u"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-la "u"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-es "i"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-la "i"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-es "o"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-la "o"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-es "p"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-la "p"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-es "a"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-la "a"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-es "s"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-la "s"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-es "d"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-la "d"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-es "f"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-la "f"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-es "g"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-la "g"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-es "h"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-la "h"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-es "j"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-la "j"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-es "l"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-la "l"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-es "n"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-la "n"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-es "r"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-la "r"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-es "x"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-la "x"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-es "c"
braillify@raspberrypi:~$ espeak-ng -v es-la "c"
> espeak-ng -v es-la "c"
> espeak-ng -v es-la "c"
> espeak-ng -v es-la "l"
```



Prueba 5: Generación de letras mediante combinaciones de botones

Se desarrolló un código para que, al presionar combinaciones correspondientes al alfabeto Braille, se reprodujeran letras en voz. Las letras se reconocieron correctamente.

Resultado: Aprobado.



Braillify

braillify@gmail.com

Aplicación de Prueba	Prototipo de Traductor Braille a Voz	Nombre	Manuel Ramírez Galván
Número de Prueba	5	Fecha de Prueba	17/04/2025

Información de Prueba						
Historia de Usuario	Prueba de programa para generar combinaciones	Pre-requisitos	Raspberry, pantalla, teclado, mouse, crear programa en python			
Localización	Edificio T - UASLP	Dependencias	Entorno y programa abierto en Raspberry			
Configuración Requerida	Generar variable para la combinación y para botón de aceptar					
Resumen de Resultados						
Se hace la prueba de que al apretar una combinación de puntos se reproduzca una letra						
Detalles de Resultados						
Entrada del Usuario	Esperado	Obtenido	Aprobado/Fallido			
1. Combinación de puntos	Reproducción de letra	Se reproduce la letra	<input checked="" type="radio"/> Aprobado <input type="radio"/> Fallido			
Flujo Alternativo						
Entrada del Usuario	Esperado	Obtenido	Aprobado/Fallido			
1. No aplica			<input type="radio"/> Aprobado <input type="radio"/> Fallido			

```

braillify.pyx
1 from opencv import Button
2 import os
3
4 # Pins GPIO para botones Braille (puntos 1 a 6)
5 braille_pins = [17, 27, 4, 2, 22, 3]
6 buttons = [Button(pin, pull_up=True) for pin in braille_pins]
7
8 # Botón de confirmación (tipo "Enter")
9 confirm_button = Button(10, pull_up=True) # Puedes cambiar el pin si usas otro
10
11 # Estado Braille (puntos 1-6)
12 estado_braille = [0, 0, 0, 0, 0, 0]
13
14 # Diccionario Braille
15 braille_dict = {
16     (1, 0, 0, 0, 0, 0): 'A',
17     (1, 0, 0, 0, 0, 1): 'B',
18     (1, 0, 0, 0, 1, 0): 'C',
19     (1, 0, 0, 1, 0, 0): 'D',
20     (1, 0, 1, 0, 0, 0): 'E',
21     (1, 1, 0, 0, 0, 0): 'F',
22     (0, 1, 0, 0, 0, 0): 'G',
23     (0, 0, 1, 0, 0, 0): 'H',
24     (0, 0, 0, 1, 0, 0): 'I',
25     (0, 0, 0, 0, 1, 0): 'J',
26     (0, 0, 0, 0, 0, 1): 'K',
27     (0, 0, 0, 0, 0, 0): 'L'
28 }
29
30 # Función para reproducir una letra
31 def reproducir_letra(braille_code):
32     # Implementación de reproducción de voz
33
34 # Función principal
35 def main():
36     # Lógica principal del programa
37
38 if __name__ == "__main__":
39     main()

```

Shell

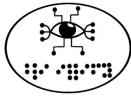
```

Punto 1 presionado
Punto 2 presionado
Punto 2 presionado
Punto 2 presionado
Punto 2 presionado

Combinación ingresada: (1, 1, 0, 0, 0, 0)
= Reproduciendo: b

Combinación ingresada: (0, 0, 0, 0, 0, 0)

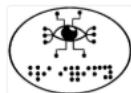
```



Prueba 6: Formación de palabras y frases

Se probaron funciones adicionales para formar palabras completas y frases utilizando un botón de espacio. Las palabras se almacenaron y reprodujeron adecuadamente.

Resultado: Aprobado.

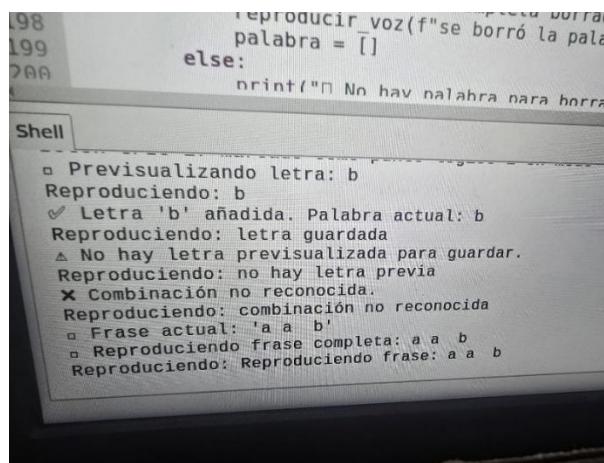


Braillify

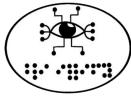
braillify@gmail.com

Aplicación de Prueba	Prototipo de Traductor Braille a Voz	Nombre	Manuel Ramírez Galván
Número de Prueba	6	Fecha de Prueba	30/04/2025

Información de Prueba						
Historia de Usuario	Prueba de formación de palabras y frases	Prerrequisitos	Raspberry, pantalla, teclado, mouse, tener el programa en Python			
Localización	Edificio T - UASLP	Dependencias	Entorno abierto de Raspberry y programa			
Configuración Requerida	Agregar variables para guardar palabras y frases además de agregar una para el espacio					
Resumen de Resultados						
Se hace forman correctamente las palabras y frases						
Detalles de Resultados						
Entrada del Usuario	Esperado	Obtenido	Aprobado/Fallido			
1. Presionar botones para combinaciones, además del botón de aceptar y el espacio.	Formación de palabras y frase	Se formaron palabras y frases	<input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="radio"/> Fallido			
Flujo Alternativo						
Entrada del Usuario	Esperado	Obtenido	Aprobado/Fallido			
1. No aplica			<input type="radio"/> Aprobado <input checked="" type="radio"/> Fallido			



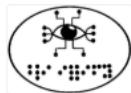
```
198     reproducir_voz(f"se borró la palabra")
199     palabra = []
200 else:
201     print("No hay palabra para borrar")
Shell
    □ Previsualizando letra: b
    Reproduciendo: b
    ✓ Letra 'b' añadida. Palabra actual: b
    Reproduciendo: letra guardada
    ▲ No hay letra previsualizada para guardar.
    Reproduciendo: no hay letra previa
    ✗ Combinación no reconocida.
    Reproduciendo: combinación no reconocida
    □ Frase actual: 'a a b'
    □ Reproduciendo frase completa: a a b
    Reproduciendo: Reproduciendo frase: a a b
```



Prueba 7: Modo números y función de borrado

Se habilitó un modo de entrada numérica con un botón exclusivo, además de un botón para borrar letras, palabras o frases. Todas las funciones se comportaron como se esperaba.

Resultado: Aprobado.

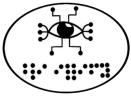
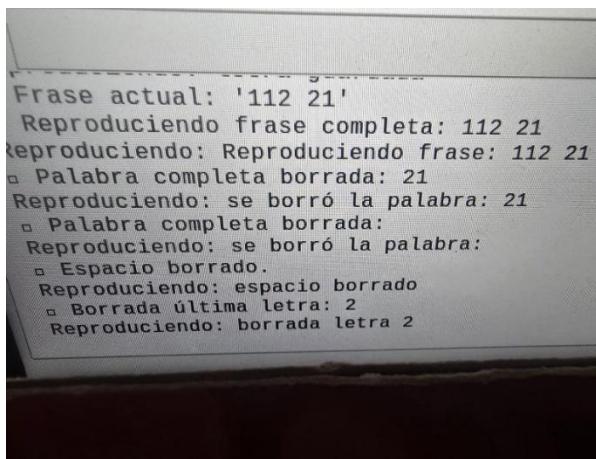


Braillify

braillify@gmail.com

Aplicación de Prueba	Prototipo de Traductor Braille a Voz	Nombre	Manuel Ramírez Galván
Número de Prueba	7	Fecha de Prueba	01/05/2025

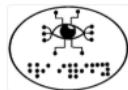
Información de Prueba						
Historia de Usuario	Prueba de formación de números y borrado	Prerrequisitos	Raspberry, pantalla, teclado, mouse, tener el programa en Python			
Localización	Edificio T - UASLP	Dependencias	Entorno abierto de Raspberry y programa			
Configuración Requerida	Agregar variable para el botón de selección de números y para borrar					
Resumen de Resultados						
Se hace forman correctamente los números y se hace el borrado de letras/números, palabras y frases						
Detalles de Resultados						
Entrada del Usuario	Esperado	Obtenido	Aprobado/Fallido			
1. Presionar botones para combinaciones de números además utilizar el botón de borrar	Formación y barrado de números	Se formaron y se borraron los números	<input checked="" type="radio"/> Aprobado <input type="radio"/> Fallido			
Flujo Alternativo						
Entrada del Usuario	Esperado	Obtenido	Aprobado/Fallido			
1. No aplica			<input type="radio"/> Aprobado <input type="radio"/> Fallido			



Prueba 8: Letras acentuadas y mayúsculas

Se implementaron botones para activar el modo mayúsculas y formar letras acentuadas. Se verificó que estas letras fueran reconocidas y reproducidas correctamente.

Resultado: Aprobado.



Braillify

braillify@gmail.com

Aplicación de Prueba	Prototipo de Traductor Braille a Voz	Nombre	Manuel Ramírez Galván
Número de Prueba	8	Fecha de Prueba	07/05/2025

Información de Prueba						
Historia de Usuario	Prueba de letras acentuadas y mayúsculas	Prerrequisitos	Raspberry, pantalla, teclado, mouse, tener el programa en Python			
Localización	Edificio T - UASLP	Dependencias	Entorno abierto de Raspberry y programa			
Configuración Requerida	Agregar variable para el botón de selección de mayúsculas y complementar abecedario					
Resumen de Resultados						
Se escriben correctamente las letras acentuadas incluyendo las mayúsculas de cada una de ellas						
Detalles de Resultados						
Entrada del Usuario	Esperado	Obtenido	Aprobado/Fallido			
1. Presionar botones para combinaciones de letras acentuadas y utilizar con ellas el modo mayúsculas	Formación y letras con acento	Se formaron las letras con acento	<input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="radio"/> Fallido			
Flujo Alternativo						
Entrada del Usuario	Esperado	Obtenido	Aprobado/Fallido			
1. No aplica			<input type="radio"/> Aprobado <input type="radio"/> Fallido			

```

33     boton_punto_1 = Button(1, pull_up=False, bounce_time=0.09)
34     boton_punto_2 = Button(2, pull_up=False, bounce_time=0.09)
35     boton_modo_numeros = Button(6, pull_up=False, bounce_time=0.09)
36     boton_modo_mayusculas = Button(5, pull_up=False, bounce_time=0.09)
37     led_pins = [13, 19, 26, 16, 20, 21]
38     leds = [LED(pin) for pin in led_pins]
39
40 # === Diccionario Braille ===
41 braille_dict = {
42     (1, 0, 0, 0, 0, 0): 'a', (1, 1, 0, 0, 0, 0): 'b', (1, 0, 0, 1, 0, 0): 'c',
43     (1, 0, 0, 1, 1, 0): 'd', (1, 0, 0, 0, 1, 0): 'e', (1, 1, 0, 1, 0, 0): 'f',
44     (1, 1, 0, 1, 1, 0): 'g', (1, 1, 0, 0, 1, 0): 'h', (0, 1, 0, 0, 1, 0): 'i',
45     (0, 1, 0, 1, 1, 0): 'j', (1, 0, 1, 0, 0, 0): 'k', (1, 1, 1, 0, 0, 0): 'l',
46     (1, 0, 1, 1, 0, 0): 'm', (1, 0, 1, 1, 1, 0): 'n', (0, 1, 1, 1, 0, 0): 'o',
47     (0, 1, 1, 0, 1, 0): 'p', (1, 1, 1, 1, 0, 0): 'q', (1, 0, 0, 0, 1, 1): 'r',
48     (1, 1, 0, 0, 1, 1): 's', (0, 1, 1, 1, 0, 0): 't', (0, 1, 0, 1, 1, 0): 'u',
49     (1, 0, 1, 0, 0, 1): 'v', (1, 0, 1, 0, 1, 1): 'w', (0, 1, 0, 0, 1, 1): 'x',
50     (1, 0, 1, 1, 0, 1): 'y', (1, 0, 0, 0, 1, 1): 'z', (0, 1, 0, 0, 1, 0): 'ñ',
51     (1, 1, 0, 0, 0, 1): 'ñ', (1, 0, 0, 0, 1, 0): 'ñ', (0, 1, 0, 0, 1, 0): 'ñ',
52     (1, 0, 1, 0, 1, 1): 'ñ', (0, 1, 1, 0, 0, 1): 'ñ', (0, 1, 0, 0, 1, 1): 'ñ',
53 }
54

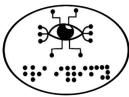
```

Shell

```

Reproduciendo: carácter guardado
o modo mayúsculas activado
Reproduciendo: modo mayúsculas activado
Punto 1 ACTIVADO
Punto 2 ACTIVADO
Punto 3 ACTIVADO
Punto 4 ACTIVADO
Punto 5 ACTIVADO
o Previsualizando: Ú
Reproduciendo: Ú
✓ Caracter 'Ú' añadido. Palabra actual: úúú
Reproduciendo: carácter guardado

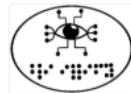
```



Prueba 9: Visualización con LEDs de las combinaciones presionadas

Se encendieron LEDs correspondientes a cada uno de los puntos Braille activados en tiempo real, brindando retroalimentación visual.

Resultado: Aprobado

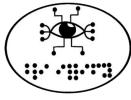
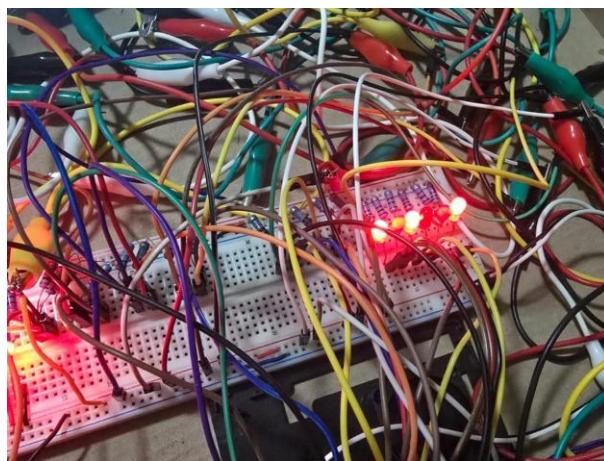


Braillify

braillify@gmail.com

Aplicación de Prueba	Prototipo de Traductor Braille a Voz	Nombre	Manuel Ramírez Galván
Número de Prueba	9	Fecha de Prueba	07/05/2025

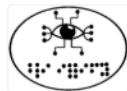
Información de Prueba						
Historia de Usuario	Prueba de LEDs con combinaciones	Prerrequisitos	Raspberry, pantalla, teclado, mouse, tener el programa en Python, LEDs conectados			
Localización	Edificio T - UASLP	Dependencias	Entorno abierto de Raspberry y programa			
Configuración Requerida	Agregar variables para relacionarlos con los botones de entrada					
Resumen de Resultados						
Se prenden los respectivos LEDs dependiendo del botón presionado						
Detalles de Resultados						
Entrada del Usuario	Esperado	Obtenido	Aprobado/Fallido			
1. Presionar botones para combinaciones	Encender los respectivos LEDs	Se encendieron los LEDs correctos	<input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="radio"/> Fallido			
Flujo Alternativo						
Entrada del Usuario	Esperado	Obtenido	Aprobado/Fallido			
1. No aplica			<input type="radio"/> Aprobado <input type="radio"/> Fallido			



Prueba 10: Sonido con bocinas internas y externas

Se identificó que las bocinas internas emitían un volumen muy bajo, por lo que se optó por usar bocinas externas para la demostración. Esto permitió un sonido claro y funcional.

Resultado: Fallido con bocinas internas / Aprobado con solución alternativa.

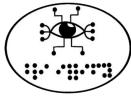


Braillify

braillify@gmail.com

Aplicación de Prueba	Prototipo de Traductor Braille a Voz	Nombre	Manuel Ramírez Galván
Número de Prueba	10	Fecha de Prueba	07/05/2025

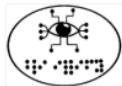
Información de Prueba						
Historia de Usuario	Prueba de sonido de bocinas a utilizar	Prerrequisitos	Raspberry, pantalla, teclado, mouse, tener el programa en Python, bocinas conectadas			
Localización	Edificio T - UASLP	Dependencias	Entorno abierto de Raspberry y programa			
Configuración Requerida	Conectar bocinas a puerto Jack de 3.5 mm					
Resumen de Resultados						
Las bocinas reproducen sonido, pero con un volumen demasiado bajo, volumen correcto con bocinas externas temporales						
Detalles de Resultados						
Entrada del Usuario	Esperado	Obtenido	Aprobado/Fallido			
1. Utilizar el programa de forma normal	Correcto sonido en las bocinas	Bajo sonido en las bocinas	<input type="radio"/> Aprobado <input checked="" type="radio"/> Fallido			
Flujo Alternativo						
Entrada del Usuario	Esperado	Obtenido	Aprobado/Fallido			
1. Conseguir otras bocinas que se escuchen mejor	Correcto sonido en las bocinas	Sonido en bocinas externas	<input checked="" type="radio"/> Aprobado <input type="radio"/> Fallido			



Prueba 11: Prueba de integración sin carcasa (programa completo)

Finalmente, se ejecutó el sistema completo conectando todos los componentes en conjunto (sin carcasa). El programa se ejecutó correctamente y con audio funcional a través de las bocinas externas.

Resultado: Aprobado.

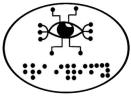
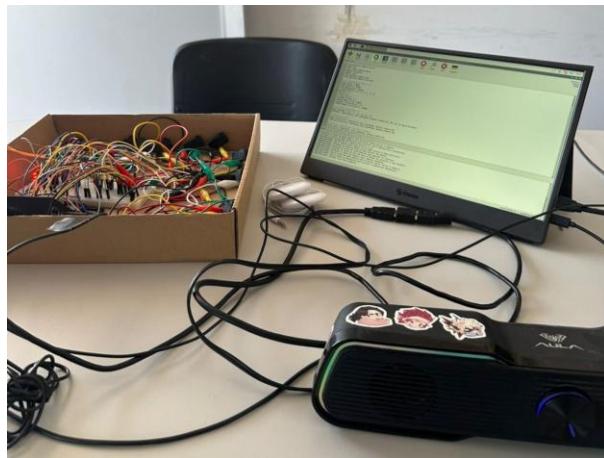


Braillify

braillify@gmail.com

Aplicación de Prueba	Prototipo de Traductor Braille a Voz	Nombre	Manuel Ramírez Galván
Número de Prueba	11	Fecha de Prueba	09/05/2025

Información de Prueba						
Historia de Usuario	Prueba de programa completo sin carcasa y bocina externa	Prerrequisitos	Raspberry, pantalla, mouse, tener el programa en Python, bocinas conectadas, conexiones completas de botones			
Localización	Edificio T - UASLP	Dependencias	Entorno abierto de Raspberry y programa			
Configuración Requerida	Conectar pantalla, mouse, bocina y botones a la Raspberry					
Resumen de Resultados						
Correcto funcionamiento del programa y sonido adecuado para la exposición						
Detalles de Resultados						
Entrada del Usuario	Esperado	Obtenido	Aprobado/Fallido			
1. Utilizar el programa de forma normal	Correcto funcionamiento del programa y salida de audio adecuado	No hubo fallos en el programa y sonido adecuado	<input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input checked="" type="checkbox"/> Fallido			
Flujo Alternativo						
Entrada del Usuario	Esperado	Obtenido	Aprobado/Fallido			
1. No aplica			<input type="radio"/> Aprobado <input type="radio"/> Fallido			



ANEXO H: Imágenes del Prototipo Final del Traductor de Braille a Voz

Vista frontal del dispositivo con botones Braille y ranura de visualización central.



Ilustración 18. Vista frontal del dispositivo con botones Braille.

Vista lateral izquierda, mostrando inclinación y puertos de conexión.



Ilustración 19. Vista lateral izquierda, mostrando inclinación y puertos de conexión.

Vista posterior, se aprecia la parrilla de ventilación, el interruptor y la agarradera incorporada para facilitar el transporte.

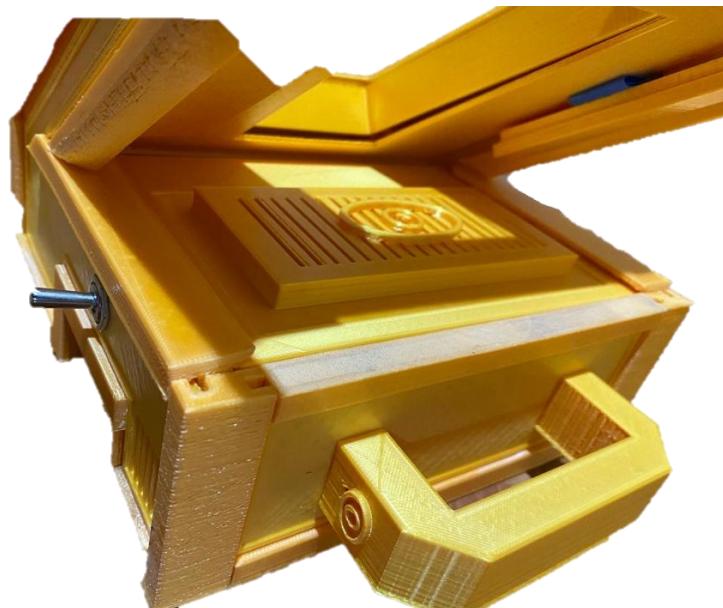


Ilustración 20. Vista posterior; se aprecia la parrilla de ventilación.

Vista superior detallada de la interfaz Braille con botones y espaciado.



Ilustración 21. Vista superior detallada de la interfaz Braille con botones y espaciado.

Vista inferior-trasera mostrando la base estructural, inclinación del dispositivo y puertos de conexión.



Ilustración 22. Vista inferior-trasera mostrando la base estructural

ANEXO I: Vista extrusiva con componentes

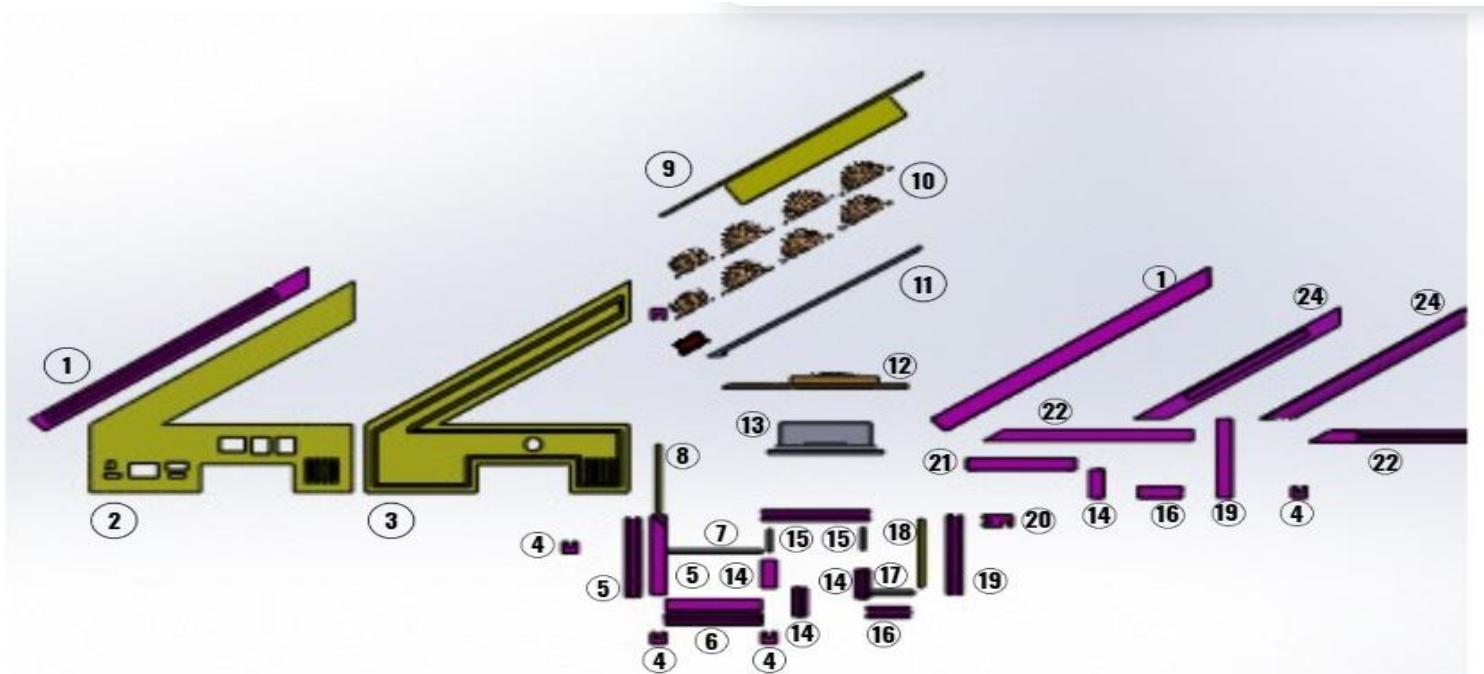


Ilustración 23. Vista extrusiva del dispositivo

Tabla 19: Tabla de componentes del dispositivo

No. Pieza	Cantidad	Características
1	2	Agarraderas de botonera
2	1	Base izquierda A
3	1	Base derecha B
4	4	Agarraderas largas de bases
5	2	Agarraderas delanteras
6	2	Agarraderas base de Rasp
7	1	Suelo A
8	1	Frente del modelo
9	1	Botonera
10	12	Botones del prototipo
11	1	Base trasera botonera
12	1	Salida de aire del dispositivo

No. Pieza	Cantidad	Características
13	1	Base Rasp
14	4	Agarraderas base
15	2	Barras de base
16	2	Agarraderas anti derrape
17	1	Base suelo
18	1	Base trasera
19	2	Agarradera base trasera
20	1	Agarradera de salida de aire
21	1	Agarradera botonera A
22	2	Agarradera botonera B
23	2	Agarradera usuario

