



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA
ELECTRÓNICO DE LECTURA PARA ESTUDIANTES DE
EDUCACIÓN GENERAL BÁSICA CON DISCAPACIDAD
VISUAL**

**Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero en
Electrónica y Telecomunicaciones**

Autor:

Álvarez Armendáriz, Mireya Daniela

Tutor:

Ing. Leonardo Rentería

Riobamba, Ecuador, 2022

DERECHOS DE AUTORÍA

Yo, Mireya Daniela Álvarez Armendáriz, con cédula de ciudadanía **060405210-0**, autor (a) (s) del trabajo de investigación titulado: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO DE LECTURA PARA ESTUDIANTES DE EDUCACIÓN GENERAL BÁSICA CON DISCAPACIDAD VISUAL**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 21 de marzo de 2022.



Mireya Daniela Álvarez Armendáriz

C.I:060405210-0

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO DE LECTURA PARA ESTUDIANTES DE EDUCACIÓN GENERAL BÁSICA CON DISCAPACIDAD VISUAL** por, Mireya Daniela Álvarez Armendáriz, con cédula de identidad número 060405210-0, certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a la fecha de su presentación.

Ing. José Jinez
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE
GRADO



Firma

Ing. Yesenia Elizabeth Cevallos
Villacrés, PhD.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

Ing. Luis Patricio Tello Oquendo, PhD.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

Ing. Leonardo Fabian Renteria
Bustamante, PhD.
TUTOR



Firma



Mireya Daniela Álvarez Armendáriz

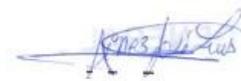
C.I:060405210-0

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO DE LECTURA PARA ESTUDIANTES DE EDUCACIÓN GENERAL BÁSICA CON DISCAPACIDAD VISUAL** por Mireya Daniela Álvarez Armendáriz, con cédula de identidad número 060405210-0, bajo la tutoría del Ing. Leonardo Rentería; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a la fecha de su presentación.

Presidente del Tribunal de Grado
Mgs. José Jinez



Firma

Miembro del Tribunal de Grado
Ing. Yesenia Elizabeth Cevallos
Villacrés, PhD.



Firma

Miembro del Tribunal de Grado
Ing. Luis Patricio Tello Oquendo, PhD.



Firma

CERTIFICACIÓN

Que, **MIREYA DANIELA ALVAREZ ARMENDARIZ** con CC: **060405210-0**, estudiante de la Carrera **ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES, NO VIGENTE**, Facultad de INGENIERIA; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO DE LECTURA PARA ESTUDIANTES DE EDUCACIÓN GENERAL BÁSICA CON DISCAPACIDAD VISUAL**", cumple con el 3 %, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **URKUND**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 7 de marzo de 2022



Firmado electrónicamente por:
**LEONARDO FABIAN
RENERIA
BUSTAMANTE**

PhD. Leonardo Rentería
TUTOR

DEDICATORIA

“Motivación es pensar que formamos parte de algo más grande, que somos necesarios, que tenemos un objetivo por el que trabajar. La motivación es lo que nos hace realmente felices”.

Mark Zuckerberg

Este trabajado va dedicado en primer lugar a Dios confidente de la lucha constante de mis sueños, a mi papa, mamá y hermano que me brindaron el apoyo incondicional en todo momento, así como también a aquellas personas que sus palabras de motivación fueron fuerza en el camino.

Daniela Alvarez A.

AGRADECIMIENTO

Agradezco por la educación, los valores y el apoyo incondicional que me supo dar mi padre **Marco Víctor Álvarez Tizalema** que con dedicación, fuerza y perseverancia me dio un gran ejemplo de vida para lograr mis metas y sueños anhelados, y las mejores enseñanzas de vida a mi madre **Nelly Rocio Armendáriz Balseca**, a mi hermano **Marco Antonio Álvarez Armendáriz** por ser esa sonrisa por cada gesto de tristeza.

A mis docentes, amigos, Leonardo Rentería, Juan Carlos Cepeda, por enseñarme aquellos conocimientos que me ayudaron a formarme y crecer como profesional.

A Danny Lozano, Santiago Castro, Andrés Maigualema, por brindarme esa amistad sincera y siempre apoyarme cuando más lo necesite, a Mario Guillen por ser parte fundamental antes, ahora y resto de nuestra vida.

Mireya Daniela Alvarez A.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS.....	12
ÍNDICE DE FIGURAS	14
RESUMEN.....	15
ABSTRACT	16
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	18
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	20
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	22
1.3. OBJETIVOS.....	22
1.3.1. Objetivo general	22
1.3.2. Objetivos específicos.....	22
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	23
2.1. ESTADO DEL ARTE	23
2.2. TÉRMINOS Y DEFINICIONES	25
2.2.1. Discapacidad.....	25
2.2.1.1. Discapacidad Motriz o Física.	26
2.2.1.2. Discapacidad Intelectual.....	26
2.2.1.3. Discapacidad Mental.	26
2.2.1.4. Discapacidad Sensorial.....	26
2.2.1.5. Discapacidad Múltiple.....	27
2.2.2. Visión, Afección Visual y Discapacidad Visual	27
2.2.3. Baja Visión	28
2.2.4. Algoritmos de Búsqueda de Texto	29
2.2.4.1. Algoritmo de Fuerza Bruta	30
2.2.4.2. Algoritmo Shift-Or	30
2.2.4.3. Algoritmo Boyer–Moore	30

2.2.5. Reconocimiento Óptico de Caracteres	30
2.2.5.1. Pre-procesamiento	31
2.2.5.2. Segmentación	31
2.2.5.3. Extracción.....	31
2.2.5.4. Reconocimiento.....	31
2.2.5.4.1. Vecinos más cercanos K-NN (K Nearest Neighbors):.....	31
2.2.5.4.2. Árboles de Decisión.....	32
2.2.6. Técnicas de Reconocimiento de Texto	32
2.2.7. Sintetizador de voz	32
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	33
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	33
3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	33
3.3. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	34
3.4. POBLACIÓN DE ESTUDIO Y TAMAÑO DE MUESTRA	35
Operacionalización de las variables	35
3.5. MÉTODOS DE ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS	36
3.5.1. Desarrollo y Funcionamiento del dispositivo.....	36
3.5.1.1. Hardware	37
3.5.1.1.1. Módulo ESP32-CAM	37
3.5.1.1.2. Diseño de la placa.....	38
3.5.1.1.3. Estructura del dispositivo	39
3.5.1.2. Software.....	39
3.5.1.2.1. Proceso para el tratado de la imagen	39
3.5.1.2.1.1. Obtención de la imagen original.....	39
3.5.1.2.1.2. Proceso de filtrado de la imagen original.	40
3.5.1.2.1.3. Filtros morfológicos	40
3.5.1.2.1.4. Erosión.....	40

3.5.1.2.1.5. Erosión de Imagen Binaria	41
3.5.1.2.1.6. Filtro de Mediana (Median Blur).....	42
3.5.1.2.1.7. Filtro Bitwise_Not	42
3.5.1.2.1.8. Normalizar la imagen	43
3.5.1.2.1.9. Algoritmo Canny	44
3.5.1.3. Detección de las palabras	46
3.5.2. Encuesta de satisfacción	48
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
4.1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
4.1.1. Información de cada estudiante	50
4.1.2. Obtención de resultados.....	51
4.1.2.1. Resultados del Estudiante 1.....	51
4.1.2.2. Resultados del Estudiante 2.....	52
4.1.2.3. Resultados del Estudiante 3.....	53
4.1.2.4. Resultados del Estudiante 4.....	54
4.1.2.5. Resultados del Estudiante 5.....	55
4.1.2.6. Resultados del Estudiante 6.....	56
4.1.3. Evaluación general de los datos obtenidos por cada estudiante	57
4.1.4. Grado de Satisfacción de los estudiantes.....	65
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
5.1. CONCLUSIONES.....	67
5.2. RECOMENDACIONES	68
BIBLIOGRAFÍA	69
ANEXOS	72
Anexo A. Instalación de las Librerías del Arduino para ESP32-CAM	72
Anexo B. Conexiones del ESP32 con adaptador universal USB	76
Anexo C. Instalación del Software	77

Anexo D. Documentación Gráfica de las Pruebas	80
---	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Afecciones oculares comunes que no suelen causar deficiencia visual	27
Tabla 2. Afecciones oculares comunes que pueden causar deficiencia visual.....	28
Tabla 3. Clasificación de la gravedad de la deficiencia visual basada en la agudeza visual del ojo que ve mejor.....	29
Tabla 4. Operacionalización de las variables	36
Tabla 5. Bitwise_Not.....	43
Tabla 6. Encuesta de satisfacción de la muestra estudio.	48
Tabla 7. Datos informativos de cada estudiante, edad, grado de discapacidad.	50
Tabla 8. Niveles de iluminación de acuerdo a los horarios establecidos	51
Tabla 9. Resultados de las 6 pruebas realizadas al estudiante 1	51
Tabla 10. Valores máximos y mínimos de la Tasa de reconocimiento del estudiante 1	52
Tabla 11. Resultados de las 6 pruebas realizadas al Estudiante 2	52
Tabla 12. Valores máximos y mínimos de la Tasa de reconocimiento del estudiante 2	53
Tabla 13. Resultados de las 6 pruebas realizadas al Estudiante 3	53
Tabla 14. Resultados de las 6 pruebas realizadas al Estudiante 4	54
Tabla 15. Valores máximos y mínimos de la Tasa de reconocimiento del estudiante 4	55
Tabla 16. Resultados de las 6 pruebas realizadas al Estudiante 5	55
Tabla 17. Valores máximos y mínimos de la Tasa de reconocimiento del estudiante 5	56
Tabla 18. Resultados de las 6 pruebas realizadas al Estudiante 6	56
Tabla 19. Valores máximos y mínimos de la Tasa de reconocimiento del estudiante 6	57
Tabla 20. Resumen de la variable que indica el coeficiente de correlación y los elementos del modelo cubico.	57
Tabla 21. Tabla ANOVA que representa el valor p de un factor de datos	62
Tabla 22. Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos por edades	63
Tabla 23. Promedios generales de los 6 Estudiantes	64
Tabla 24. Promedio de Valores máximos y mínimos generales de la Tasa de reconocimiento.	64
Tabla 25. Anexo. ESP32-CAM	76
Tabla 26. Anexo. Adaptador FTDI FT232	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Algoritmo de lectura de texto secuencial	24
Figura 2. HandSight.....	25
Figura 3. EyeRing.....	25
Figura 4. Diseño de Investigación	34
Figura 5. Funcionamiento del Dispositivo	37
Figura 6. Módulo ESP32-CAM.....	38
Figura 7. Diseño de la placa	38
Figura 8. Estructura del Prototipo.....	39
Figura 9. Imagen original para el proceso de Filtrado.....	40
Figura 10. Erosión de una imagen binaria mediante un elemento estructurante cuadrado de tamaño 10x10.....	42
Figura 11. Tamaño de apertura Ksize de 1 para el proceso de suavizado de imagen	42
Figura 12. Filtro Bitwise Not donde: a) valores menores que muestra la imagen muy clara, b) imagen con valores mayores que muestra demasiado sombreado y c) imagen con valores óptimos.....	43
Figura 13. Normalización de la imagen en Open CV con: a) Alpha 150 y Beta 180, b). Alpha 150 y Beta 255 y c) Alpha 2 y Beta 255.....	44
Figura 14. Aplicación del algoritmo Canny, donde: a) valor Kernel Sobel menor a 5 y b) Valor optimo Sobel de 5.....	46
Figura 15. Detección de párrafos por medio de puntos rojos.....	46
Figura 16. Detección de líneas dentro de párrafo captado.	47
Figura 17. Detección de palabras en las líneas que contiene el párrafo captado.....	47
Figura 18. Indicador de líneas leídas a través del color verde en el párrafo captado.	48
Figura 19. Detección de la palabra por medio de barras color rojo en la línea del párrafo captado.....	48
Figura 20. Texto utilizado para realizar las pruebas.....	50

Figura 21. Gráfico de dispersión que muestra la cantidad de palabras leídas en diferentes tiempos de lectura.....	58
Figura 22. Representación mediante un diagrama de cajas evaluando las palabras leídas con el tiempo de cada prueba realizada	60
Figura 23. Representación mediante un diagrama de cajas evaluando las palabras leídas con el nivel de iluminación.....	61
Figura 24. Representación gráfica de las medias de un factor de datos entre las palabras leídas y las edades de los estudiantes.	63
Figura 25. Anexo. Instalación del driver del EPS32 paso1	72
Figura 26. Anexo. Instalación del driver del EPS32 paso2	73
Figura 27. Anexo. Instalación del driver del EPS32 paso3	73
Figura 28. Anexo. Instalación del driver del EPS32 paso4	74
Figura 29. Anexo. Instalación del driver del EPS32 paso5	74
Figura 30. Anexo. Instalación del driver del EPS32 paso6	75
Figura 31. Anexo. Conexión a la red WiFi.	77
Figura 32. Anexo. Calibración de la Imagen.....	78
Figura 33. Anexo. Vincular y Guardar.	78
Figura 34. Anexo. Lectura Palabra a Palabra.	79
Figura 35. Anexo. Datos.....	80
Figura 36. Anexo. Estudiante 1	80
Figura 37. Anexo. Estudiante 2	81
Figura 38. Anexo. Estudiante 3	82
Figura 39. Anexo. Estudiante 4	83
Figura 40. Anexo. Estudiante 5	83
Figura 41. Anexo. Estudiante 6	84

RESUMEN

La discapacidad visual se refiere a las deficiencias funcionales del órgano de la visión, está determinada por los niveles de deterioro de la función visual. En Ecuador existe un 11,58% de personas registradas que presentan algún tipo de discapacidad visual, y de forma más precisa en la Provincia de Chimborazo el 4,23% de personas tienen discapacidad visual y el 2,55% están en edad escolar. Las personas que presentan discapacidad visual tienen dificultad de alineación, enfoque, precisión, movilidad y eficiencia. Existen diferentes dispositivos electrónicos desarrollados con la finalidad de integrarlos en los procesos educativos y socioeconómicos. Este proyecto plantea el desarrollo de un sistema electrónico de lectura para mejorar la accesibilidad de los estudiantes de educación general básica con discapacidad visual y baja visión. El funcionamiento general del dispositivo está conformado por un módulo ESP32-CAM el cual captura la información del texto a través de su cámara y lo convierte en una imagen que es procesada por el software de procesamiento diseñado para realizar el filtrado, la binarización, la segmentación y reconocimiento de la palabra y finalizar con la sintetización. La tasa de reconocimiento obtenida en las pruebas es de 76,53%, lo que indica que la implementación del Sistema de Lectura es eficiente.

Palabras claves: Discapacidad visual, módulo ESP32-Cam, Reconocimiento de caracteres, Imagen, Filtrado, Binarización, Segmentación, Audio.

ABSTRACT

Visual impairment refers to the functional deficiencies of the organ of vision, it is determined by the levels of impairment of visual function. In Ecuador there are 11.58% of registered people who have some type of visual disability, and more precisely in the Province of Chimborazo 4.23% of people have visual disabilities and 2.55% are of school age. People who are visually impaired have difficulty with alignment, focus, precision, mobility, and efficiency. There are different electronic devices developed in order to integrate them into educational and socio-economic processes. This project proposes the development of an electronic reading system to improve the accessibility of basic general education students with visual disabilities and low vision. The general operation of the device is made up of an ESP32-Cam module which captures the text information through its camera and converts it into an image that is processed by the processing software designed to perform filtering, binarization, and segmentation. and word recognition and ending with text-to-audio conversion. The recognition rate of obtained in the tests is 76.53%, which indicates that the implementation of the Reading System is efficient.

Keywords: Visual impairment, ESP32-Cam module, Character recognition, Image, filtering, binarization, segmentation, audio

DORIS
ELIZABETH
VALLE VINUEZA



Firmado digitalmente
por DORIS ELIZABETH
VALLE VINUEZA
Fecha: 2022.03.15
15:05:40 -05'00'

Reviewed by: Mgs. Doris Valle V.

ENGLISH PROFESSOR

c.c 0602019697

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, de acuerdo con los cálculos de la OMS (Organización Mundial de la Salud), más de 1000 millones de personas, alrededor del 15% de la población, tienen alguna forma de discapacidad [1]. En términos generales, la discapacidad se define como todas las deficiencias, las limitaciones para realizar actividades y las restricciones de participación; se refiere a los aspectos negativos de la interacción entre una persona (que tiene una condición de salud) y los factores contextuales de esa persona (factores ambientales y personales) [2].

La discapacidad visual, se encuentra dentro de la clasificación de discapacidad, se refiere a personas con deficiencias funcionales del órgano de la visión, de las estructuras y funciones asociadas; incluidos los párpados. Está determinada por los niveles de deterioro de la función visual, se establece tras la medición de la agudeza visual y del campo visual de cada uno de los ojos por separado [3]. De acuerdo con los informes de la OMS se estima un crecimiento de 237.1 millón de personas con baja visión y las estimaciones son de 38.5 millones de personas ciegas en 2020 [1].

En Ecuador, el Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades, realiza un registro continuo de las personas con discapacidad, el cual se deriva la siguiente información, de un total de 472.213 personas registradas, el 11,58% (54.662 personas) presentan discapacidad visual. En la Provincia de Chimborazo el 4,23% de personas tienen discapacidad visual y hay un 2,55% en edad escolar porcentaje representado a 1.212 estudiantes [4].

De acuerdo al reporte Ecuador en cifras, en la ciudad de Riobamba, Provincia de Chimborazo, existen 385 menores de 12 años con discapacidad visual, registrados por el Censo Nacional de Instituciones Educativas del Ministerio de Educación (AMIE) [5]. En este sentido, el marco normativo del país establece que las personas en edad escolar que presenten discapacidad visual y baja visión accederán a la educación regular. Por lo cual, serán considerados dentro del grupo de Necesidades Educativas Especiales Asociadas a la Discapacidad Visual con Adaptaciones Curriculares.

Por otro lado, durante siglos, las personas con discapacidad visual parcial o total han enfrentado limitaciones al tratar de acceder a la información y a la educación; razón por la que se han apoyado en personas externas como lectores, relatores orales y otros. Por motivo de estas restricciones se han desarrollado métodos y dispositivos de lectura de textos, que ayudan a derrumbar la barrera de acceso a la información.

En abril de 2014 varios autores representantes del Instituto de tecnología de Massachusetts (MIT), Instituto Nacional de Educación (NIE), Universidad de Tecnología y Diseño de Singapur (SUTD), realizaron una publicación basada en un dispositivo que ayuda a las personas con discapacidad visual a leer de manera efectiva y eficiente el texto impreso. En efecto, la tecnología informática y la electrónica; brindan un gran apoyo en el desarrollo de sistemas, incrementan el nivel de accesibilidad a la información. De este modo, el desarrollo del dispositivo electrónico de lectura permitiría que la población escolar con discapacidad visual y baja visión; matriculada en las instituciones de educación regular, tenga igualdad de oportunidades y se pueda prevenir un bajo rendimiento académico e inclusive deserción o abandono escolar.

Este informe está elaborado en capítulos que describen la forma en que ha realizado el trabajo de recopilación de la información y el desarrollo del proyecto de investigación “Diseño e Implementación de un Sistema Electrónico de Lectura para Estudiantes de Educación General Básica con Discapacidad Visual”. A continuación, una breve descripción de cada capítulo:

En el capítulo uno se plantea el problema y se expone la solución con la cual se puede resolver el mismo y la justificación de esta solución. Asimismo, se encuentran los objetivos a seguir en el desarrollo del proyecto.

En el capítulo dos se detallan los antecedentes o publicaciones que aportan información relevante para este proyecto. Igualmente, se describen aspectos teóricos que complementan el diseño y desarrollo del Sistema Electrónico de Lectura.

En el capítulo tres se brinda una explicación de la metodología, seguida para el diseño del Sistema Electrónico de Lectura basada en una investigación analítica y experimental, el cual se desarrolla en tres etapas: investigación, diseño y prueba.

En el capítulo se lleva a cabo el análisis de los resultados obtenidos en base a las pruebas realizadas con diferentes estudiantes con discapacidad visual y baja visión y de este modo verificar la funcionalidad del dispositivo.

Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones de los resultados obtenidos junto a la experiencia conseguida con la realización de este trabajo.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los dispositivos de lectura de textos se idearon inicialmente como un elemento complementario del recurso principal, para personas en situación de discapacidad visual. El lenguaje Braille, a pesar de ser un sistema eficaz, tiene el problema de estar limitado para cierta clase de textos literarios, esto impide que las personas en situación de discapacidad visual tengan acceso a un amplio campo literario, donde se encuentran diversos tipos de textos impresos. Al hacer referencia a los documentos impresos, es clara la dificultad que existe para poder acceder a la información, porque no presentan los medios para interpretar el texto que contiene [6].

Por otra parte, los recursos sirven como material de apoyo para acceder a la información impresa; sin embargo, es muy importante cumplir el postulado del diseño universal de educación, indica que los centros educativos tienen la obligación de contar con ambientes de aprendizaje adecuados para el desarrollo personal y profesional de las personas [7].

En Ecuador, la mayoría de textos de educación básica, sobre todo libros de gobierno no son adecuados para estudiantes con discapacidad visual o de baja visión. Algunos de estos textos están traducidos en braille, otros en audiolibros; sin embargo, no son suficientes o adecuados para el correcto y eficiente desarrollo de los estudiantes; en su proceso de

aprendizaje y enseñanza. Por esta razón, las personas con esta discapacidad en edad laboral, tienen tasas muy altas de analfabetismo y desempleo [8].

A pesar de los esfuerzos realizados por los entes encargados en el sistema de educación, no existen suficientes medios que permitan a una persona con discapacidad visual, acceder a la información para la adquisición de los conocimientos necesarios y puedan alcanzar una situación socioeconómica estable. Esta es una de las barreras en el aprendizaje de mayor envergadura; por lo tanto, no hay suficiente información con contenido científico-profesional, esto limita el conocimiento e inserción social de las personas con discapacidad visual.

A nivel mundial, se han desarrollado dispositivos electrónicos de lectura para personas con discapacidad visual o baja visión, con la finalidad de integrarlos en los procesos educativos y en el ámbito socio-económico; sin embargo, estos dispositivos pueden ser costosos, de poca disponibilidad en el mercado o de gran tamaño y peso, igualmente no son de fácil adquisición. Del mismo modo, se introdujo una nueva forma secuencial local para escanear texto que permite leer líneas individuales, bloques de texto o deslizar el texto para secciones importantes, mientras proporciona retroalimentación auditiva y táctil en tiempo real. El diseño está motivado por estudios preliminares para personas con discapacidad visual; es un dispositivo portable, permite una operación manejable con poca configuración [9].

Por las razones expuestas, el proyecto plantea el diseño e implementación de un dispositivo electrónico, capaz de sintetizar textos lineales con retroalimentación auditiva y táctil; en tiempo real, de bajo costo, para personas con discapacidad visual o baja visión en edad escolar, el cual va a permitir mayor acceso al conocimiento.

1.2. JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de un Sistema Electrónico de Lectura para estudiantes de educación general básica con discapacidad visual, tiene como fin mejorar la accesibilidad a los textos de educación que permiten la adquisición del conocimiento necesario para la interacción social. Este dispositivo está compuesto por una cámara miniatura encargada de escanear el texto impreso, un sistema de adquisición de datos que permite identificar las palabras, procesar la información y sintetizar el texto en audio.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema electrónico de lectura para mejorar la accesibilidad de los estudiantes de educación general básica con discapacidad visual y baja visión.

1.3.2. Objetivos específicos

- Analizar las diferentes tecnologías disponibles y seleccionar la más adecuada para desarrollo e implementación del prototipo.
- Desarrollar un dispositivo electrónico que convierta el texto de libros escolares en audio.
- Evaluar la efectividad del dispositivo, al realizar un test de prueba y error; para determinar la tasa de reconocimiento con estudiantes que presentan discapacidad visual y baja visión.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. ESTADO DEL ARTE

Para desarrollar el sistema electrónico de lectura, se investiga la existencia de otros dispositivos que han contribuido a la correcta realización del proyecto. Revistas científicas como la IEEE o en buscadores académicos como Google Scholar o Semantic Scholar, que sirven para complementar la información necesaria para el diseño e implementación del dispositivo. A continuación, algunos trabajos que aportan información relevante al proyecto.

El desarrollo del un dispositivo portátil de lectura de huellas dactilares utilizando varias tecnologías de detección (*Universal 3D Wearable Fingerprint Targets: Advancing Fingerprint Reader Evaluations*) [10], permite la evaluación repetible y controlada de los lectores y la interoperabilidad de los lectores de las huellas. Para su construcción se realizó: 1) mapeo digital de imágenes de huellas dactilares en un molde negativo; 2) Modelado CAD de un sistema de andamios para sujetar el molde negativo; 3) fabricación del sistema de moldes y andamios con una impresora 3D de alta resolución; 4) Mezcla de material con propiedades eléctricas, ópticas y mecánicas similares a las del dedo humano; y 5) fabricar un objetivo de huellas dactilares en 3D El aporte de este trabajo al desarrollo del proyecto es la técnica de mapeo de imágenes.

Por otro lado, en Estados Unidos se desarrolló un dispositivo de lectura para personas con discapacidad visual, denominado FingerReader, tiene por objetivo superar varias dificultades para las personas con discapacidad visual, como la alineación, el enfoque, la precisión, movilidad, eficiencia y ayuda a leer textos impresos. El sistema FingerReader cuenta con un hardware para la retroalimentación táctil, a través de motores de vibración y software; que incluyen algoritmos de visión por computador para el escaneo de texto secuencial local, permite la lectura de líneas simples, bloques de texto, hojear el texto con retroalimentación multimodal complementaria. El dispositivo portátil en forma de anillo se lleva en el dedo índice, cuenta con una cámara de alta resolución, permite escanear el texto, por lo tanto, la lectura secuencial se compone de una serie de sub-algoritmos encadenados

como una máquina de estados, para detectar inicialmente el dedo como forma de calibración, al mismo tiempo se escucha las palabras en habla sintetizada; asimismo, el dispositivo alerta al lector si se saltan del renglón o pierden la ubicación en el texto, todo esto lo hace en tiempo real, como se observa en la Figura 1. El dispositivo proporciona una interface sencilla para los usuarios, facilita a ubicar la orientación correcta de la cámara [11].

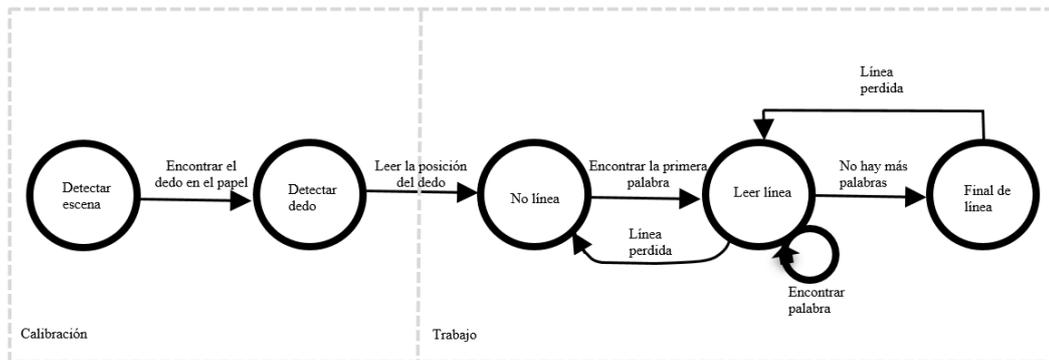


Figura 1. Algoritmo de lectura de texto secuencial

HandSight es otro dispositivo, tiene como objetivo examinar la interacción distal, no debe obstaculizar la función táctil normal, ya que los dedos en las personas con discapacidad visual o baja visión están sincronizados a su acción natural de distinguir o guiar, como se observa en la Figura 2. El HandSight tiene un diseño fácil de usar, existen algunos dispositivos que tienen altos requisitos de entrenamiento y son difíciles de interactuar; los algoritmos deberán funcionar con precisión y en tiempo real. Así mismo, este dispositivo cuenta con una cámara de alta resolución para la captura del texto conjuntamente con leds que mejoran la iluminación de la escena, al igual que los otros dispositivos mencionados. HandSight incluye un anillo 3D de velcro ajustable. Para el procesamiento se utilizó un microcontrolador, con un módulo bluetooth para la detección de parte final, inicio de línea e incluso salto de línea, utilizando motores de vibración [12].

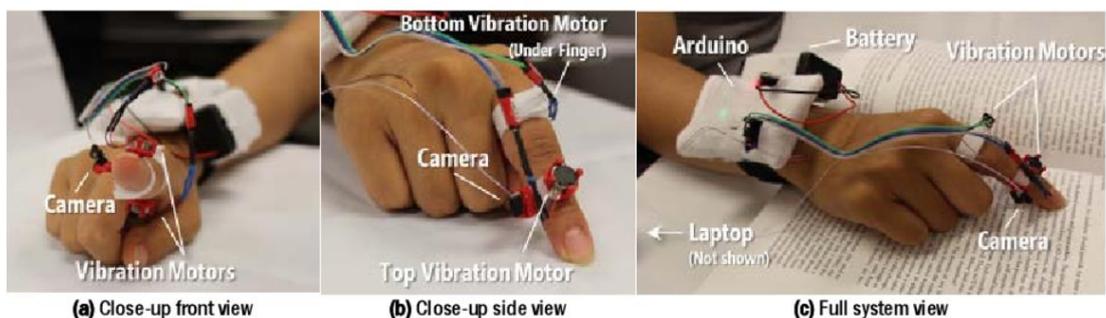


Figura 2. HandSight

Otros dispositivos desarrollados con el fin de ayudar a las personas con discapacidad visual, se enfocan en el gesto natural de señalar, se usa para la interacción con objetos próximos. Estos dispositivos son más manejables a espectadores externos; se basan en tres cualidades importantes: el dispositivo debe ser socialmente aceptado, funcionalmente coherente tanto para personas sin discapacidad visual y con discapacidad visual; debe ser independiente y portátil; todos estos parámetros fueron tomados en cuenta para el desarrollo del dispositivo. El EyeRing consiste en un dispositivo que se lleva en el dedo con una cámara incorporada y un elemento de computación incorporado; como un teléfono inteligente o una computadora, se utiliza para la E/S de voz, tal como se muestra en la Figura 3. El dispositivo de dedo es autónomo, inalámbrico e incluye un solo botón para iniciar la interacción. La información del dispositivo se transfiere vía Bluetooth al elemento de computación donde se procesa [13].

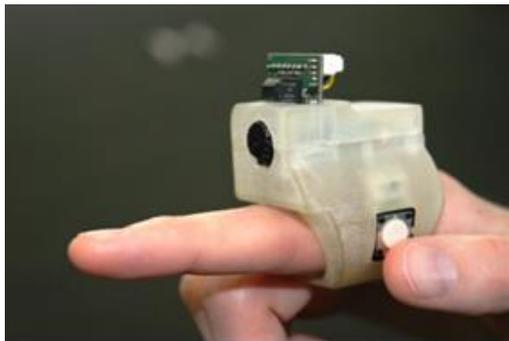


Figura 3. EyeRing

2.2. TÉRMINOS Y DEFINICIONES

En relación con los objetivos y al desarrollo del sistema electrónico; a continuación, se hace referencia a los conceptos que lo fundamentan y son necesarios para la comprensión del mismo.

2.2.1. Discapacidad

Las discapacidades son una condición del ser humano, que de forma general abarca las deficiencias (son problemas que afectan a una estructura o función corporal), limitaciones

de actividad (dificultades para ejecutar acciones o tareas) y restricciones de participación de una persona (dificultades para relacionarse y participar en situaciones vitales). La discapacidad es parte de la condición humana, es así que la mayor parte de la población tendrá una discapacidad temporal o permanente en algún momento de su vida [2].

La discapacidad puede clasificarse en función al tipo de problema que se presenten las dificultades, entre estas se encuentran: la discapacidad física, la discapacidad sensorial, la discapacidad intelectual, la discapacidad visceral, la discapacidad psíquica y la discapacidad múltiple [14].

La discapacidad es muy diversa, desde el punto de vista médico puede clasificarse en cinco categorías [15]:

2.2.1.1. Discapacidad Motriz o Física.

Por ejemplo, secuelas de afecciones de órganos o sistemas del cuerpo producto de paraplejia, cuadriplejia, amputaciones de extremidades, poliomielitis, artritis.

2.2.1.2. Discapacidad Intelectual.

Limitaciones en el funcionamiento intelectual y en el desarrollo de las habilidades adaptativas. Por ejemplo, Síndrome de Down, Síndrome de Martin y Bell, Síndrome de Rett, Síndrome de Asperger, Alzheimer.

2.2.1.3. Discapacidad Mental.

Alteraciones bioquímicas que limitan el pensamiento, el humor, los sentimientos, así como el comportamiento con los demás. Por ejemplo, trastorno bipolar, esquizofrenia, trastorno obsesivo-compulsivo, depresión mayor, trastorno dual.

2.2.1.4. Discapacidad Sensorial.

Limitaciones en la función de la percepción de los sonidos externos (oído) o de los objetos (vista). Pueden tener ausencia total de la percepción visual, o padecer debilidad visual, es decir ausencia parcial de la visión o tener una hipoacusia (disminución parcial del oído) o sordera (ausencia total de la percepción de los sonidos).

2.2.1.5. Discapacidad Múltiple.

Es la presencia de dos o más discapacidades sensoriales, intelectual, mental y/o motriz o física.

2.2.2. Visión, Afección Visual y Discapacidad Visual

La visión es el más dominante de los sentidos del ser humano, razón por lo cual tiene un papel fundamental en todos los aspectos de la vida. La visión sustenta el desarrollo de habilidades sociales para forjar amistades, fortalecer la autoestima, mantener el bienestar, facilita la participación en la fuerza de trabajo, contribuye a los beneficios económicos y a un sentido de identidad [1].

Se entiende como afección visual a toda enfermedad que afecte al ojo. Por otro lado, La deficiencia visual ocurre cuando una enfermedad ocular afecta el sistema visual y a una o más de sus funciones. Mientras que algunas afecciones oculares causan deficiencia visual, muchas otras en general no lo hacen. Dada la variedad de las afecciones oculares, es un desafío clasificarlas; una forma de hacerlo es distinguir las que generalmente no causan deficiencia visual de las que sí la pueden causar [1] (Tablas 1 y 2).

Tabla 1. Afecciones oculares comunes que no suelen causar deficiencia visual

Enfermedad Ocular	Descripción.
Blefaritis	Inflamación de los párpados cerca de la base de la pestaña caracterizada por el enrojecimiento e irritación del ojo del párpado.
Chalazión y Orzuelo	Trastornos comunes de los párpados debidos a una glándula obstruida o una infección localizada, que puede causar dolor.
Conjuntivitis	Inflamación de la conjuntiva (la membrana transparente que recubre el interior de los párpados y cubre la parte blanca del ojo) causada comúnmente por la alergia o la infección.

Ojo Seco	Se debe a una producción insuficiente de lágrimas, que puede provocar irritación y visión borrosa.
Pterigión y Pinguecula	Crecimientos anormales en la conjuntiva que pueden causar dolor. En casos avanzados, el pterigión puede invadir la córnea y causar pérdida de visión.
Hemorragia Subconjuntival	Rotura de vasos sanguíneos debajo de la conjuntiva.

Tabla 2. Afecciones oculares comunes que pueden causar deficiencia visual

Enfermedad Ocular	Descripción.
Degeneración macular senil	Daños en la parte central de la retina, responsable de la visión detallada, que producen manchas oscuras, sombras o distorsión de la visión central.
Cataratas	Nubosidad en el cristalino del ojo que ocasiona una visión cada vez más borrosa.
Opacidad Corneal	Un grupo de afecciones que hacen que la córnea se vuelva cicatrizada o turbia.
Retinopatía Diabética	Daño a los vasos sanguíneos de la retina, que se vuelven permeables o se obstruyen.
Glaucoma	Daño progresivo al nervio óptico.
Error de Refracción	Debido a una forma o longitud anormal del globo ocular, la luz no se enfoca en la retina, lo que produce visión borrosa.
Tracoma	Enfermedad causada por una infección bacteriana.

La discapacidad visual es la disminución total o parcial de la vista. Se mide a través de diversos parámetros, como la capacidad lectora de cerca y de lejos, el campo visual o la agudeza visual. Esta pérdida grave de funcionalidad de la visión se va a manifestar en limitaciones muy severas de la persona para llevar a cabo de forma autónoma sus desplazamientos, las actividades de vida diaria, o el acceso a la información. Del mismo modo, en restricciones para el acceso y la participación de la persona en sus diferentes entornos vitales: educación, trabajo, ocio, entre otros, y que adoptan la forma, no sólo de barreras físicas y arquitectónicas, sino sociales [16].

2.2.3. Baja Visión

La baja visión, se define como una categoría de deficiencia visual de moderada a grave en la que se presenta una dificultad para percibir luz, forma, tamaño o color de los objetos.

Las personas que la padecen experimentan limitaciones para el desarrollo de distintas actividades básicas de la rutina diaria como caminar, salir a la calle, cocinar, realizar

pasatiempos; así como, el desarrollo de tareas que requieran de la visión, tales como el estudio y el trabajo.

Todo trae como consecuencia restricciones en la participación de la persona en el ejercicio de sus derechos, en la producción de ingresos, en la toma de decisiones, en el acceso a los espacios tecnológicos, arquitectónicos, entre otros y genera una condición de discapacidad visual [17].

Las encuestas de población miden la deficiencia visual basándose exclusivamente en la agudeza visual, que se define como una medida simple y no invasiva de la capacidad del sistema visual para discriminar dos puntos de alto contraste en el espacio y la clasifican como deficiencia leve, moderada o grave de la visión de lejos o ceguera, y deficiencia de la visión de cerca [2] (Tabla 3).

Tabla 3. Clasificación de la gravedad de la deficiencia visual basada en la agudeza visual del ojo que ve mejor

Gravedad de la Deficiencia Visual			
Categoría		Agudeza visual en el ojo que ve mejor	
		Peor que:	Igual o mejor que:
Deficiencia visual leve		6/12	6/18
Deficiencia visual moderada		6/18	6/60
Deficiencia visual grave. Baja Visión		6/60	3/60
Ceguera		3/60	
Deficiencia visual de cerca. Baja Visión		N6 o 0.8 m a 40cm	

2.2.4. Algoritmos de Búsqueda de Texto

Un algoritmo es una lista de instrucciones que lleva directamente al usuario a una respuesta o resultado particular dada la información disponible [18]. Los algoritmos son ordenados, tienen inicio y fin, son concretos y deben tener una secuencia.

Los Algoritmos de búsqueda secuencial de texto, son los encargados de verificar y recorrer documentos de texto; que localizan ocurrencias del patrón o patrones buscados [19].

Con estos algoritmos se pueden realizar acciones como búsqueda de palabras, frases, entre otras.

Existen una amplia variedad de algoritmos de búsqueda de texto; a continuación, se describen los más reconocidos.

2.2.4.1. Algoritmo de Fuerza Bruta

Es el más sencillo. Recorre el texto carácter a carácter, busca coincidencias con los caracteres de la palabra buscada. Puede registrar patrones de cualquier longitud, por esta razón inicialmente fue candidato para la búsqueda de frases [19].

2.2.4.2. Algoritmo Shift-Or

Familia de algoritmos de corrimiento. Utiliza un autómata no determinista para reconocer el patrón. El procesamiento del texto se hace de izquierda a derecha, permite análisis (o búsqueda) paralelo, funciona como una máquina de estados [19].

2.2.4.3. Algoritmo Boyer–Moore

No analiza todos los caracteres del texto. Preprocesa el patrón a buscar para calcular saltos en el análisis (o búsqueda) [19].

2.2.5. Reconocimiento Óptico de Caracteres

La tecnología de reconocimiento de caracteres (OCR: Optical Character Recognition) engloba un conjunto de técnicas basadas en estadísticas, en las formas de los caracteres, transformadas y comparaciones; complementándose entre sí, se emplean para distinguir de forma automática entre los diferentes caracteres alfanuméricos existentes [20]. Por otro lado, la OCR, se define como una técnica de reconocimiento de imágenes, que involucran técnicas como la binarización, segmentación, normalización, esqueletización y proyecciones [21].

2.2.5.1. Pre-procesamiento

Adecuación de la imagen. En esta etapa el objetivo es eliminar de la imagen cualquier tipo de ruido o imperfección que no pertenezca al carácter, así como normalizar el tamaño del mismo. Para esta etapa se utilizan diversos algoritmos, entre los que tenemos:

1. Etiquetado para la división de la imagen en regiones de componentes conectadas.
2. Erosión/expansión: para la eliminación de pequeños grupos de píxeles.
3. Umbralizado de histograma para eliminar/seleccionar los objetos más brillantes o más oscuros de la imagen [20].

2.2.5.2. Segmentación

Selección de la zona de interés. Es la operación que permite la descomposición de un texto en diferentes entidades lógicas las cuales deben ser lo suficientemente invariables para ser independiente del escritor y lo suficientemente significativas para su reconocimiento [20].

2.2.5.3. Extracción

Representación digital de la imagen donde se aplica métodos de comparación de las representaciones de los caracteres leídos para determinar qué caracteres alfanuméricos o signos de puntuación representa [22].

2.2.5.4. Reconocimiento

Distinción del carácter contenido en la imagen a través de técnicas de minería de datos que se explicaran a continuación:

2.2.5.4.1. Vecinos más cercanos K-NN (K Nearest Neighbors):

Es un método no paramétrico y supervisado que proporcionados resultados muy adecuados para la aplicación que se está tratando. El procedimiento utilizado es explicado de la siguiente manera [20]: Dado un conjunto de objetos prototipo de los que ya se conoce la clase (es decir, dado un conjunto de caracteres de muestra) y dado un nuevo objeto cuya clase no conocemos (imagen de un carácter a reconocer) se busca entre el conjunto de prototipos lo “k” más parecidos a nuevo objeto. A esto se le asigna la clase más numerosa entre los “k” objetos prototipos seleccionados.

2.2.5.4.2. Árboles de Decisión

Es una técnica de aprendizaje autónomo, los datos que pueden ser aplicados en el reconocimiento óptico de caracteres. El aprendizaje es inductivo. Los patrones o atributos que se quieren evaluar de un carácter determinado constituyen los nodos del árbol mientras que los resultados finales se almacenaran en las hojas de los mismos. La estructura del árbol permitirá que la evaluación de caracteres se pueda tratar como una arquitectura de decisión IF-THEN-ELSE, es decir, si el número de parámetros a evaluar es suficientemente grande para tener capacidad expresiva pero suficientemente pequeña para ser eficiente computacionalmente, el árbol resulta una estructura que favorece la velocidad de cálculo [20].

2.2.6. Técnicas de Reconocimiento de Texto

El reconocimiento de texto es una técnica analítica que consigue extraer y analizar la información que se encuentra en documentos de formato imagen; por ejemplo: JPG o PNG. Se puede aplicar a cualquier imagen que contenga texto, independientemente del idioma en que se encuentre [23]. El sistema de reconocimiento de texto más utilizado es el Deep Learning el cual primero localiza dónde se encuentra ubicado el texto dentro de la imagen, para posteriormente identificar qué palabras componen ese texto [23].

2.2.7. Sintetizador de voz

Software para producir voz sintética por medio de un ordenador. Se puede utilizar tanto para la salida de voz de un revisor de pantalla, como de un magnificador o para

cualquier otro software que necesite apoyo sonoro [24]. En otras palabras, la síntesis de habla es la producción artificial del lenguaje. El habla sintetizada puede ser creada, a través de la sucesión de fragmentos de habla grabados, que son almacenados en una base de datos. La calidad de un sintetizador de voz se juzga por la similitud que tenga con la voz humana.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La metodología del desarrollo del Sistema Electrónico de Lectura se basó en un estudio de tipo descriptivo, el cual sirvió para analizar la información recolectada sobre los diferentes tipos de discapacidades visuales que afectan a la lectura y comprensión de textos escritos.

De igual manera se realizó consulta y búsqueda en repositorios de Universidades reconocidas por su nivel académico de excelencia en trabajos de investigación sobre diseño y desarrollo de dispositivos electrónicos para lectura, que sirven de ayuda a personas con discapacidades visuales.

Del estudio descrito anteriormente se opta por el empleo de la investigación aplicada, puesto que se realizó el diseño de un sistema electrónico para mejorar la comprensión lectora de los estudiantes de educación general básica con discapacidad visual y baja visión.

3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Para el diseño la investigación se dividió en tres fases:

Primera Fase: Se analizó la bibliografía existente acerca de desarrollo de dispositivos o sistemas electrónicos similares al proyecto, con aporte de información relevante al diseño e implementación del sistema electrónico de lectura, para estudiantes de educación general básica con discapacidad visual y baja visión.

Segunda Fase: Se diseñó e implementó el dispositivo electrónico capaz de sintetizar texto lineal con retroalimentación auditiva en tiempo real, desarrollando un circuito general conjuntamente con una estructura óptima para que los estudiantes puedan manipularlo y se realizó la configuración para su correcto funcionamiento, el cual permite mayor acceso al conocimiento.

Tercera Fase: Se efectuó la evaluación del funcionamiento y rendimiento del dispositivo bajo diferentes condiciones, así como también se efectuaron las pruebas establecidas con cada estudiante para validar el funcionamiento del dispositivo.

La Figura 4 representa el Diseño de investigación basado en tres fases principales, para el diseño y desarrollo del sistema electrónico de Lectura para estudiantes de educación general básica con discapacidad visual y baja visión.

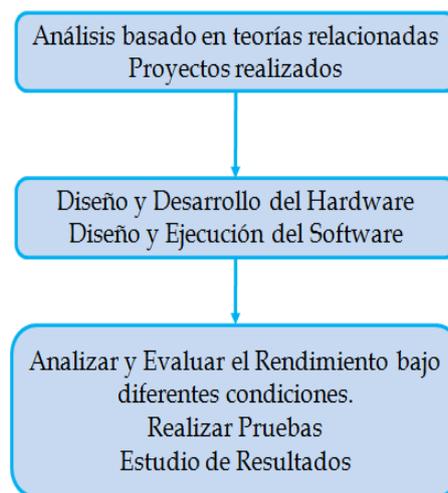


Figura 4. Diseño de Investigación

Fuente: (Autor)

3.3. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

En la siguiente investigación se compiló información científica, basada en el tema de estudio sobre el desarrollo de dispositivos para personas con discapacidad visual y baja visión, el estudio de literatura comprende artículos científicos, libros, tesis, reportes, bases de datos como IEEE, Springer, Scopus, entre otros. Considerando fechas de publicaciones de los últimos 6 años, escritos en idioma español e inglés para adquirir información relevante al tema planteado.

3.4. POBLACIÓN DE ESTUDIO Y TAMAÑO DE MUESTRA

La población está compuesta por 36 datos generados por seis estudiantes con discapacidad visual o baja visión de la Unidad Educativa Fiscal Dr. Luis Benavides. Cada una de las pruebas sirvió para medir la tasa de reconocimiento del dispositivo, la cual corresponde al número de palabras reconocidas correctamente, expresado en porcentajes.

La población definida en este estudio es finita por tanto la muestra para este tipo de población es [25].

$$\text{Ecuación finita con estimación de proporciones} \quad n = \frac{Z^2 * P * Q * N}{e^2 * (N-1) + Z^2 * P * Q} \quad (1)$$

Z^2 : el número de unidades de desviación que indica el nivel de confianza adoptado, elevado al cuadrado.

e^2 : el error muestral considerado, elevado al cuadrado.

N : el tamaño de la población.

P : la proporción (o porcentaje) de individuos que tienen una característica.

Q : la proporción (o porcentaje) de individuos que no tienen la característica.

$$n = \frac{1,96^2 * 0,5 * 0,5 * 6}{0,05^2 * (6-1) + 1,96^2 * 0,5 * 0,5} = \frac{5,76}{0,97} = 5,93 \quad (2)$$

Para una población de 36 datos realizado a 6 estudiantes, con un nivel de confianza $Z=1,96$, una probabilidad de éxito $P=0,5$, una probabilidad de fracaso $Q=0,5$ y un margen de error $e=5\%$.

Operacionalización de las variables

Para el análisis de los resultados obtenidos se seleccionaron las siguientes características del sistema: nivel de iluminación, ángulo de inclinación, tasa de reconocimiento, como variables de estudio. En la tabla 4, se presenta la clasificación de las variables y los métodos de estudio realizados.

Tabla 4. Operacionalización de las variables

Variables		Concepto	Categoría	Indicadores	Técnicas e Instrumentos
INDEPENDIENTES	Nivel de iluminación	La iluminación depende del lugar de trabajo donde se realizaron las pruebas	PERSONA L-NATURAL	*Luz natural *Luz artificial	*Fundamentos conceptuales *Software de desarrollo en Android Studio *
	Ángulo de inclinación	La variable fue caracterizada por varios parámetros programables en la configuración del prototipo	CONTROL	*Nivel de precisión lineal	Observación directa mediante el prototipo lector
DEPENDIENTE	Tasa de reconocimiento	Número de palabras reconocidas correctamente	CONTROL	*Número de palabras *Número de pruebas realizadas *Número de intentos acertados y fallidos	

3.5. MÉTODOS DE ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS

3.5.1. Desarrollo y Funcionamiento del dispositivo

La figura 5, muestra el diagrama de flujo del funcionamiento del sistema. El proceso se inicia con la adquisición de la imagen en tiempo real por medio del módulo ESP32-CAM. Seguidamente, se lleva a cabo la primera segmentación que permite separar la línea de texto. Una segunda segmentación permite separar la línea en palabras para finalmente con ayuda

del puntero que se ubica sobre la palabra, permite la identificación de la misma para posteriormente sinterizarla en audio.

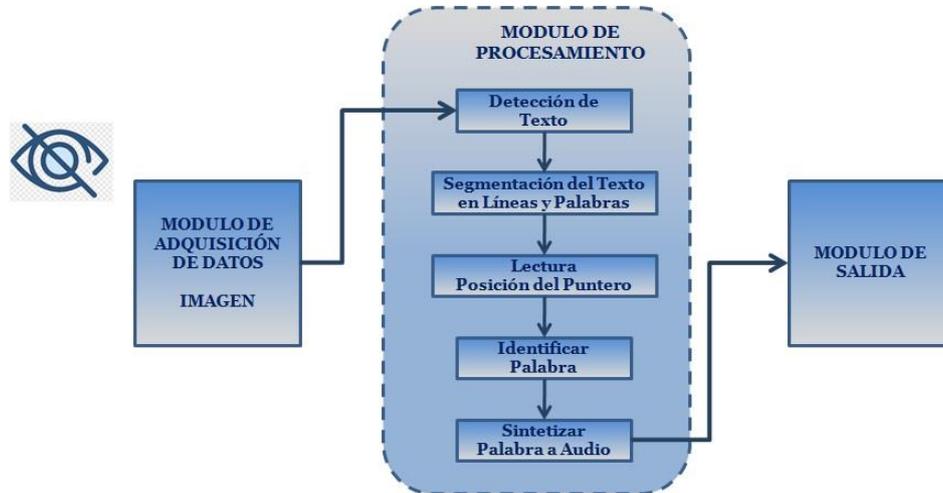


Figura 5. Funcionamiento del Dispositivo
Fuente: (Autor)

3.5.1.1. Hardware

El desarrollo físico (hardware) del dispositivo electrónico se basó en usar el módulo ESP32-CAM para la captura y procesamiento de la imagen, se añadió una placa que integra otros elementos necesarios en el proceso de lectura, colocados en una estructura que facilita la manipulación del Sistema de Lectura.

3.5.1.1.1. Módulo ESP32-CAM

Se escogió para la captura de las imágenes el módulo ESP32-CAM, debido a que posee una cámara integrada y un microcontrolador de 32 bits para el procesamiento de datos, así mismo, posee una memoria RAM de 520KB. Por otro lado, es un dispositivo de fácil programación y bajo costo. En la Figura 6 se observa un módulo ESP32.



Figura 6. Módulo ESP32-CAM
Fuente: (Autor)

3.5.1.1.2. Diseño de la placa

La Figura 7 representa la distribución de los componentes en la placa del dispositivo. Es un diseño 3D que permite observar cómo quedaría el prototipo después de su construcción final. Los componentes que integran el prototipo son:

1. Pin de carga tipo b para recargar al prototipo cuando su batería se agote.
2. Pin para motor y buzzer indicador de inicio y fin de línea.
3. Pin para pulsador
4. Pin para switch de encendido
5. Pin para Leds indicadores de encendido.
6. Pines para conexión al módulo ESP32-CAM

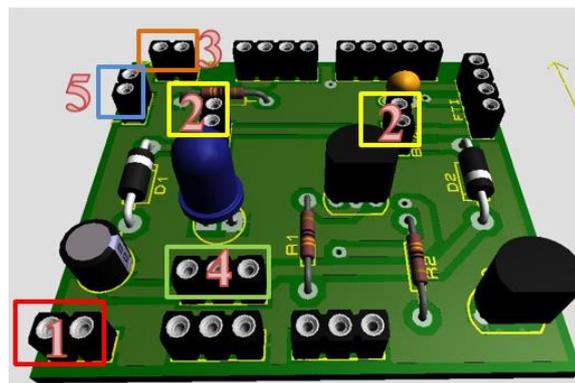


Figura 7. Diseño de la placa
Fuente: (Autor)

3.5.1.1.3. Estructura del dispositivo

En el diseño e implementación del prototipo se incluyó una estructura que soporta el libro, una regleta que controla la linealidad de la lectura, un riel para el fácil desplazamiento de la cámara y el módulo de procesamiento, con el fin de tener un sistema amigable para el usuario. La figura 8.a representa el diseño de la estructura y la 8.b el prototipo ya construido.



Figura 8. Estructura del Prototipo
Fuente: (Autor)

3.5.1.2. Software

El diseño del software del Sistema Electrónico de Lectura, inició con el proceso de captar o la captura de la imagen, luego se realizó el procesamiento que implicó la binarización, segmentación y reconocimiento de la imagen y finalizó con el proceso de síntesis, es decir, convertir texto en audio.

En el anexo 3, se tienen las instrucciones para la instalación de la aplicación.

3.5.1.2.1. Proceso para el tratado de la imagen

3.5.1.2.1.1. Obtención de la imagen original.

Este es el primer paso para el procesamiento de la información. La imagen es capturada por la cámara que está integrada al módulo ESP32-CAM. La figura 9 representa una imagen antes del proceso de filtrado.

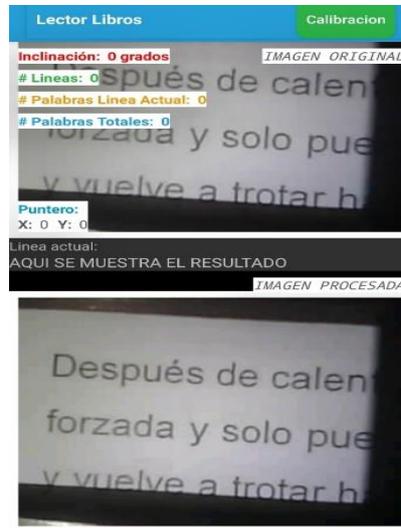


Figura 9. Imagen original para el proceso de Filtrado

Fuente: (Autor)

3.5.1.2.1.2. Proceso de filtrado de la imagen original.

Una vez captada la imagen, se realizó el proceso binarización, donde la imagen multicolor es convertida a dos colores: blanco y negro, se aplicaron varios filtros para eliminar ruidos de la imagen.

3.5.1.2.1.3. Filtros morfológicos

El objetivo de usar filtros morfológicos es extraer figuras geométricas de la imagen capturada usando otra imagen conocida llamada elemento estructurante.

3.5.1.2.1.4. Erosión

La erosión en teoría de retículos es una operación que conmuta con el ínfimo [26]. La erosión se definió de la siguiente manera, ecuación (3): Dado un retículo completo X , $\varepsilon: X \rightarrow X$ en la que:

$$\varepsilon(\bigwedge x_i) = \bigwedge \varepsilon(x_i) \quad (3)$$

$$i \in I \text{ } i \in I$$

donde I es cualquier conjunto de índices y $\{x_i\}$ es una colección arbitraria de valores $x_i \in X$

La transformación de erosión es el resultado de comprobar si el elemento estructurante Y está totalmente incluido dentro del conjunto X [26]. Como se define en la ecuación (4).

$$\varepsilon_Y(X) = \{x | Y_x \subseteq X\} \quad (4)$$

En palabras quieren decir que la erosión de un conjunto X por un elemento estructurante Y se define como el conjunto de puntos o elementos x , pertenecientes a X , de forma que cuando el elemento estructurante Y se traslada a ese punto, el elemento queda incluido en X [32].

3.5.1.2.1.5. Erosión de Imagen Binaria

La ecuación (5) define erosión de una imagen binaria A y un elemento estructural B como:

$$A \ominus B = \{x | B_x \subseteq A\} \quad (5)$$

La ecuación 5 se entiende como aquellos píxeles x tales que la estructura B situada sobre x pertenezca en su totalidad a la imagen A . La erosión es la operación morfológica dual a la dilatación y se concibe usualmente como una reducción de la imagen original [27].

En este caso se utilizó un elemento estructural de 10×10 con origen en el centro para multiplicar por cada pixel de la imagen a filtrar. El proceso de la imagen erosionada se fundamentó en lo siguiente: si todos los pixeles vecinos del pixel de entrada están a 1, entonces el pixel de salida será 1, en cualquier otro caso, el pixel de salida será 0. El resultado obtenido se muestra en la Figura 10.

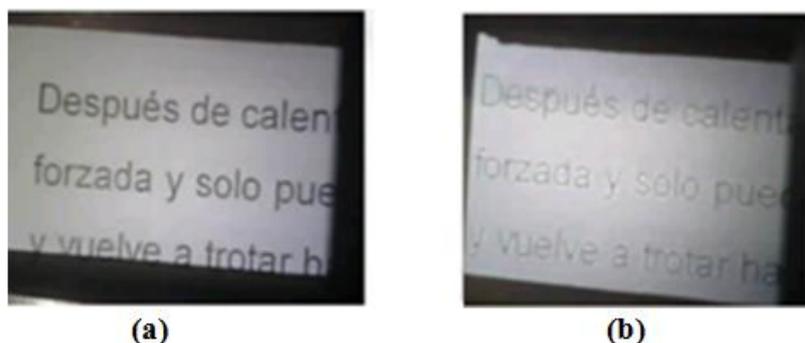


Figura 10. Erosión de una imagen binaria mediante un elemento estructurante cuadrado de tamaño 10x10.

Fuente: (Autor)

3.5.1.2.1.6. Filtro de Mediana (Median Blur)

El filtro de mediana es un filtro de suavizado, se ejecuta a través de cada elemento de la imagen, se obtiene un pixel de salida haciendo la media aritmética de los pixeles de la ventana elegida. Si el valor de la ventana (matriz) es mayor, mayor será el difuminado en la imagen.[27].

En la figura 11 se observa que se aplicó este proceso de suavizado de imagen blur a la imagen ya erosionada, con un tamaño de apertura (Ksize, es decir, el tamaño del kernel de convolución) de 1. Luego se procedió a desenfocar la imagen 11.a obtenida con el fin de tener una imagen más clara 11.b.

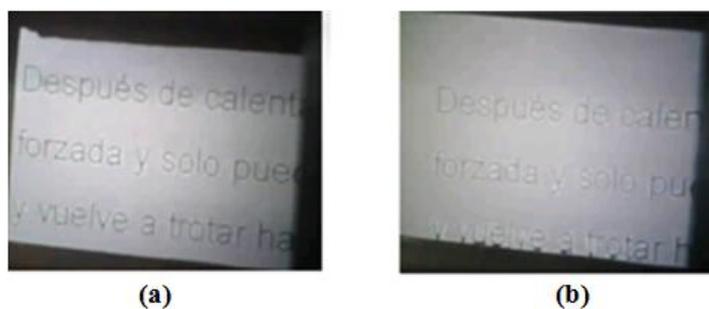


Figura 11. Tamaño de apertura Ksize de 1 para el proceso de suavizado de imagen

Fuente: (Autor)

3.5.1.2.1.7. Filtro Bitwise_Not

Un filtro Bitwise [28] analiza la representación binaria de los valores de entrada de la imagen. El filtro Bitwise_Not se basa en determinar el complemento binario de un valor

de entrada, es decir, cada bit de entrada que sea 1 la salida será 0 y para los bits de entrada que sean 0, la salida será 1.

La tabla 5 muestra como es el mecanismo del filtro Bitwise_Not.

Tabla 5. Bitwise_Not

	Valor decimal		Valor Binario
Entrada	5	→	00000101
			↓
Bitwise_Not	-6	←	11111010

Fuente: (Autor)

En el procesamiento de la imagen se usó este filtro para eliminar la parte sombreada de la imagen.

El filtro Bitwise_Not procesó la imagen obtenida del filtrado blur, en la Figura 12.a se observa una imagen más clara que la Figura 12.b que se observa más bordes o sombreado, esto se debe a los valores utilizados como prueba y error y en la figura 12.c se observa una imagen más nítida debido a la eliminación del sombreado hasta alcanzar un valor óptimo de la imagen.

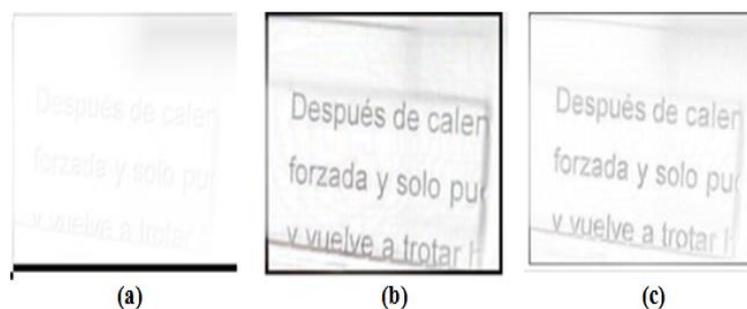


Figura 12. Filtro Bitwise Not donde: a) valores menores que muestra la imagen muy clara, b) imagen con valores mayores que muestra demasiado sombreado y c) imagen con valores óptimos.

Fuente: (Autor)

3.5.1.2.1.8. Normalizar la imagen

El siguiente paso dado en el procesamiento de la imagen es la Normalización que se hizo con la intención de hacer a la imagen más atractiva para los sentidos. El proceso

realizado fue cambiar el rango de valores de intensidad de pixeles. La normalización se utilizó para aumentar el contraste, y como consecuencia ayudó a mejorar la segmentación de la imagen.

En la Figura 13 se puede observar cómo se ha realizado la normalización de la imagen obtenida del último proceso realizado Bitwise_Not. En la Figura 13.a se observa una imagen obtenida con valores de Alpha 150 y Beta 180; en la Figura 13. b los valores usados fueron: Alpha 150 y Beta 255. En ambos casos los resultados fueron imágenes con contrastes muy blancos o muy oscuros por lo cual se descartaron estos valores. En la Figura 13.c se aplicaron los valores óptimos de Alpha 2 y Beta 255 y se obtuvo una imagen legible y con buen contraste.



Figura 13. Normalización de la imagen en Open CV con: a) Alpha 150 y Beta 180, b). Alpha 150 y Beta 255 y c) Alpha 2 y Beta 255

Fuente: (Autor)

3.5.1.2.1.9. Algoritmo Canny

El algoritmo de Canny fue utilizado para la detección de bordes en una imagen, ya que es sencillo, posee gran velocidad de procesamiento y tiene menos porcentaje de identificación de bordes falsos en comparación con otros algoritmos, características fundamentales cuando se aplicó para la detección de los bordes de las palabras.

El Algoritmo de Canny cumple con los siguientes criterios: [29]

- **Reducción de ruido.** Este paso fue aplicado luego de haber realizado el proceso de filtrado y suavizado de la imagen ya que la detección de bordes es susceptible al ruido.
- **Encontrar el gradiente de la intensidad de la imagen.** Se basa en calcular el gradiente de la imagen para lo cual se filtró de nuevo la imagen utilizando un Kernel Sobel en dirección horizontal (G_x) y uno en dirección vertical (G_y), luego se obtuvieron dos imágenes a las cuales se les encontró el borde y la dirección del gradiente en cada pixel de la imagen de prueba. En las ecuaciones (6) y (7) se definen la magnitud y la dirección del vector bidimensional obtenido, ecuación (8)

$$|G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} = |G_x| + |G_y| \quad (6)$$

$$\phi(x, y) = \tan^{-1} \frac{G_y}{G_x} \quad (7)$$

$$G[f(x, y)] = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} f(x, y) \\ \frac{\partial}{\partial y} f(x, y) \end{bmatrix} \quad (8)$$

- **Supresión de falsos máximos.** Esta técnica fue usada para afinar los bordes encontrados. La imagen se escanea para eliminar los pixeles que no forman parte de los bordes. El procedimiento seguido fue comparar cada pixel con sus vecinos cercanos en la dirección del gradiente, si el valor del pixel en cuestión es mayor al de sus vecinos es aceptado caso contrario es suprimido. Con este procedimiento se obtuvo una imagen con los bordes más finos.

La figura 14 es el resultado de aplicar el algoritmo Canny utilizando un Kernel Sobel de 5. En la figura 14.a se observa la imagen para valores menores a 5, y en la figura 14.b se observa una imagen más nítida usando valores óptimos (sobel: 5).

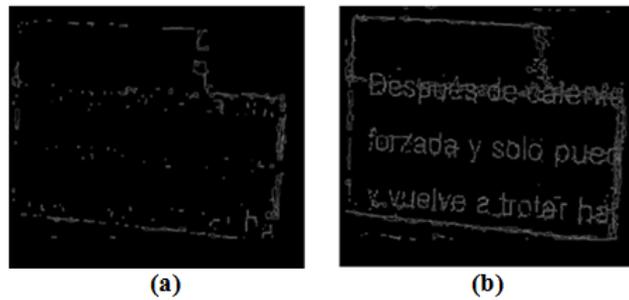


Figura 14. Aplicación del algoritmo Canny, donde: a) valor Kernel Sobel menor a 5 y b) Valor óptimo Sobel de 5
Fuente: (Autor)

3.5.1.3. Detección de las palabras

Finalizada la etapa de mejoramiento de la imagen se procedió a la detección de las palabras.

- En la Figura 15 los puntos rojos delimitan los párrafos. Para iniciar primero obtenemos la matriz para trabajar en OpenCV, posteriormente en etapas se realizó la detección de párrafos mediante valores en el eje x, y, de cada esquina del párrafo.

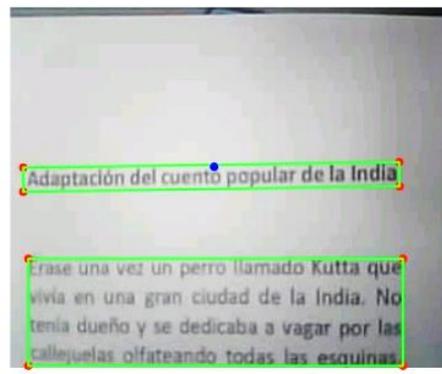


Figura 15. Detección de párrafos por medio de puntos rojos.
Fuente: (Autor)

- El siguiente proceso fue segmentar en líneas el párrafo captado. Se observa en la Figura 16 que cada línea está limitada por 4 puntos rojos. Los cuales marcan las posiciones en x, y.

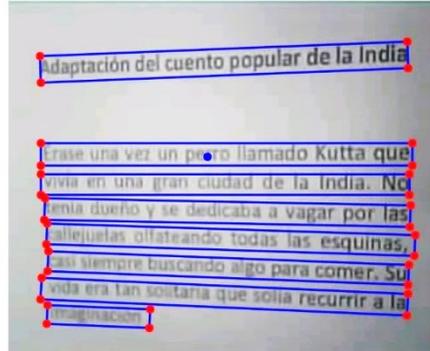


Figura 16. Detección de líneas dentro de párrafo captado.

Fuente: (Autor)

- Una vez segmentado el párrafo en líneas, se procedió a segmentar en palabras, como se observa en la Figura 17. Como referencia están establecidos recuadros de color lila para cada palabra, también se observa una línea de color amarillo la cual indica que nos encontramos en la línea actual del párrafo, con la finalidad posterior de verificar cuántas líneas han sido leídas.

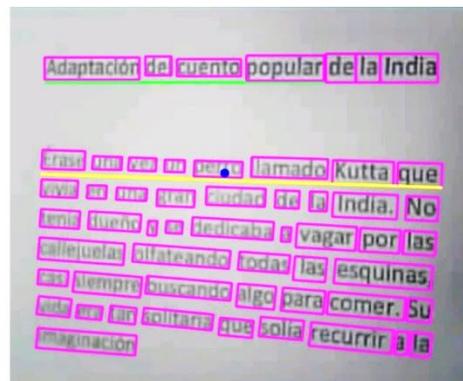


Figura 17. Detección de palabras en las líneas que contiene el párrafo captado.

Fuente: (Autor)

- En la Figura 18 se observa las líneas que han sido leídas, mediante los indicadores de color verde, también se puede ver en la imagen que existe un punto de color azul el cual representa el puntero central para la detección de la palabra.

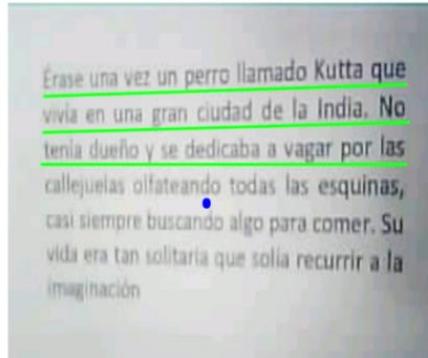


Figura 18. Indicador de líneas leídas a través del color verde en el párrafo captado.

Fuente: (Autor)

- En la Figura 19 se observa ya la palabra detectada, delimitada por dos barras de color rojo y el puntero central en la palabra. Como procedimiento final la palabra captada es sintetizada en audio.

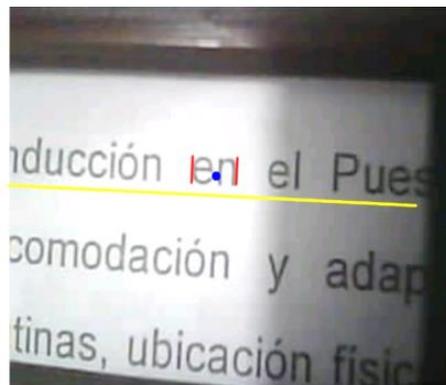


Figura 19. Detección de la palabra por medio de barras color rojo en la línea del párrafo captado

Fuente: (Autor)

3.5.2. Encuesta de satisfacción

Una vez realizadas las pruebas de lectura utilizando el dispositivo, se aplicó una encuesta de satisfacción para determinar la experiencia de cada estudiante al utilizar el dispositivo. Las preguntas que se realizaron se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Encuesta de satisfacción de la muestra estudio.

CUESTIONARIO	
¿Cómo describiría el dispositivo?	
¿Cómo calificaría su experiencia con el dispositivo?	Malo – Bueno – Muy bueno
¿Considera que el dispositivo satisface sus necesidades?	SI – NO
Recomendaciones	

Fuente: (Autor)

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para comprobar la eficiencia del dispositivo se efectuó la lectura de un texto que contiene tres párrafos: el primero tiene 54 palabras, el segundo 112 y el tercero 34, para un total de 200 palabras. Las pruebas fueron realizadas por 6 estudiantes con diferente nivel de discapacidad visual y/o baja visión, con edades comprendidas entre 11 años y 30 años. Cada estudiante ejecutó un total de 6 ensayos; igualmente las pruebas se realizaron con baja, media y alta iluminación y con un ángulo de inclinación de 0°. El texto leído por los estudiantes se observa en la Figura 20.

A las ocho de la mañana la mamá de Laura ya se ha tomado su café con tostadas. Es hora de despertar a su hija o se hará tarde. Casi a oscuras, se acerca a la pequeña cama de madera y busca su carita bajo el edredón para darle un beso de buenos días.

Laura se despereza, se pone sus zapatillas rojas y se sienta en la soleada cocina. Hoy tiene mucha hambre, pero por suerte, su madre le ha preparado su desayuno favorito: zumo de naranja, tres nueces y un tazón de leche con cereales. La niña sabe que esta es la comida más importante del día y que necesita alimentarse bien para poder pensar con claridad. Además, hoy hay clase de gimnasia y tiene que practicar la voltereta lateral para la actuación de fin de curso. Cuando termina, se viste, se lava la cara y los dientes, y se cepilla el cabello. Dentro de su mochila mete un cuaderno y siete lápices de colores.

Su madre aparece sonriendo y le da un paquetito con un par de galletas. Está creciendo y necesitará reponer fuerzas a media mañana Laura. Laura, como todos los días, acude al colegio muy feliz.

Figura 20. Texto utilizado para realizar las pruebas.

Fuente: (Autor)

En los experimentos realizados por los estudiantes se midió el tiempo de lectura y la cantidad de palabras leídas por el dispositivo, para poder calcular la tasa de reconocimiento de palabras. En el anexo 4 se observa la documentación gráfica (imágenes fotográficas) de las pruebas realizadas a los estudiantes.

4.1.1. Información de cada estudiante

A continuación, se detalla la información más relevante acerca de los estudiantes que participaron en este estudio.

Tabla 7. Datos informativos de cada estudiante, edad, grado de discapacidad.

NOMBRE	NIVEL EDUCATIVO	EDAD (Años)	NIVEL DE DISCAPACIDAD (%)	OBSERVACIÓN
Estudiante 1	3ro Bachillerato	17	80%	No vidente de nacimiento
Estudiante 2	3ro Bachillerato	17	80%	No vidente de nacimiento
Estudiante 3	7mo de Básica	11	84%	No vidente de nacimiento
Estudiante 4	7mo de Básica	13	87-100%	Con el ojo derecho no ve nada
Estudiante 5	Ama de casa	30	85%	No vidente de nacimiento
Estudiante 6	Egresado	26	95%	Perdió la vista en un accidente a los 13 años

Fuente: (Autor)

Como se observa en la Tabla 7 se obtuvieron datos relevantes para la investigación, se trabajó con estudiantes de diferentes edades, y diferente grado de discapacidad visual, con el fin de interactuar con cada uno de ellos y verificar así el funcionamiento del dispositivo desarrollado.

4.1.2. Obtención de resultados

La Tabla 8, muestra los niveles de iluminación y los horarios correspondientes con los que se llevaron a cabo los experimentos.

Tabla 8. Niveles de iluminación de acuerdo a los horarios establecidos

Horario	Nivel de iluminación
8:00 am – 12:00 am	Alta
14:00 pm – 17:00 pm	Media
18:00 pm – 21:00 pm	Baja

Fuente: (Autor)

Para interpretar los resultados, a continuación, se observa los datos obtenidos por cada estudiante de manera individual y de manera general los valores máximos y mínimos de la tasa de reconocimiento.

4.1.2.1. Resultados del Estudiante 1.

Persona de 17 años que presenta un 80% de discapacidad visual. Se le realizaron los ensayos a las 5:00 pm. Se realizó en un ambiente con nivel medio de iluminación y el ángulo de inclinación usado en los ensayos fue de 0°. La Tabla 9 contiene los resultados.

Tabla 9. Resultados de las 6 pruebas realizadas al estudiante 1

Nivel de Iluminación	Ángulo de Inclinación	Cantidad de palabras leídas	Cantidad de palabras No leídas	Tiempo (min)	%Tasa de Reconocimiento
Medio	0°	149	51	15	74,50
Medio	0°	153	47	10	76,50
Medio	0°	155	45	12	77,50
Medio	0°	146	54	13	73,00
Medio	0°	177	23	10	88,50
Medio	0°	179	21	10	89,50

Fuente: (Autor)

La Tabla 9 indica de manera individual las 6 pruebas ejecutadas, tomando valores de tiempo de lectura, cantidad de palabras leídas, y la tasa de reconocimiento. En la Tabla 10 se detallan los valores máximos y mínimos de la Tasa de Reconocimiento del Estudiante 1.

Tabla 10. Valores máximos y mínimos de la Tasa de reconocimiento del estudiante 1

% TASA DE RECONOCIMIENTO			
	%	PALABRA LEÍDAS	TIEMPO (min)
Tasa de reconocimiento máximo	89,50	179	10 min
Tasa de reconocimiento mínimo	73,00	146	13 min

Fuente: (Autor)

En la Tabla 10 se observa que la mínima cantidad de palabras leídas fueron 146 y la máxima 179. Con los datos obtenidos se calculó el promedio de palabras leídas: 159,83; el tiempo promedio invertido: 11,67 minutos, lo que dio una tasa máxima de reconocimiento de 89,50% en un tiempo de 10 minutos y una mínima de 73% con un tiempo de 13 minutos.

4.1.2.2. Resultados del Estudiante 2.

Persona de 17 años que presenta un 80% de discapacidad visual. Se le realizaron las pruebas a las 9:00 am. Se observa un nivel alto de iluminación en el lugar donde se realizó la prueba. El ángulo de inclinación usado en los ensayos fue de 0°. La Tabla 11 contienen los resultados.

Tabla 11. Resultados de las 6 pruebas realizadas al Estudiante 2

Nivel de Iluminación	Ángulo de Inclinación	Cantidad de palabras leídas	Cantidad de palabras No leídas	Tiempo (min)	%Tasa de Reconocimiento
Alta	0°	163	37	10,33	81,50
Alta	0°	160	40	10,7	80,00
Alta	0°	176	24	14,75	88,00
Alta	0°	179	21	11,19	89,50
Alta	0°	183	17	11,57	91,50
Alta	0°	131	69	15,56	65,50

Fuente: (Autor)

La Tabla 11 muestra de manera individual las 6 pruebas ejecutadas, tomando valores de tiempo de lectura, cantidad de palabras leídas, y la tasa de reconocimiento.

Tabla 12. Valores máximos y mínimos de la Tasa de reconocimiento del estudiante 2

% TASA DE RECONOCIMIENTO			
	%	PALABRA LEÍDAS	TIEMPO (min)
Tasa de reconocimiento máximo	91,50	183	11,57 min
Tasa de reconocimiento mínimo	65,50	131	15.56 min

Fuente: (Autor)

En la Tabla 12 se observa que la mínima cantidad de palabras leídas fueron 131 y la máxima 183. Con los datos obtenidos se resume que el dispositivo realiza la lectura promedio de 165,33 palabras en un tiempo de 12,35 minutos, con una tasa máxima de reconocimiento de 91,50% con un tiempo de 11.57 minutos y una mínima de 65,50% con un tiempo 15.56 minutos.

4.1.2.3. Resultados del Estudiante 3.

Persona de 11 años que presenta un 84% de discapacidad visual. Las pruebas fueron realizadas a las 9:00 am. El ambiente donde se efectuaron las pruebas tenía un nivel alto de iluminación y el ángulo de inclinación usado en los ensayos fue de 0°. La Tabla 13 contiene los resultados.

Tabla 13. Resultados de las 6 pruebas realizadas al Estudiante 3

Nivel de Iluminación	Ángulo de Inclinación	Cantidad de palabras leídas	Cantidad de palabras No leídas	Tiempo (min)	%Tasa de Reconocimiento
Alta	0°	109	91	35	54,50
Alta	0°	112	88	34	56,00
Alta	0°	133	67	27	66,50
Alta	0°	128	72	28	64,00
Alta	0°	166	34	25	83,00
Alta	0°	168	32	26	84,00

Fuente: (Autor)

La Tabla 13 indica de manera individual las 6 pruebas ejecutadas, tomando valores de tiempo de lectura, cantidad de palabras leídas, y la tasa de reconocimiento.

Tabla 13. Valores máximos y mínimos de la Tasa de reconocimiento del estudiante 3

% TASA DE RECONOCIMIENTO			
	%	PALABRA LEÍDAS	TIEMPO (min)
Tasa de reconocimiento máximo	84,00	168	26 min
Tasa de reconocimiento mínimo	54,50	109	35 min

Fuente: (Autor)

Se observa que la mínima cantidad de palabras leídas fueron 109 y la máxima 168. Con los datos obtenidos se asume que el dispositivo realiza la lectura promedio de 136 palabras en un tiempo de 29,17 minutos, con una tasa máxima de reconocimiento de 84% y una mínima de 54,50%.

4.1.2.4. Resultados del Estudiante 4.

Persona de 13 años que presenta un 95% de discapacidad visual. Se le realizaron las pruebas a las 7:00 pm. El lugar donde se hicieron los ensayos presentaba un nivel bajo de iluminación. El ángulo de inclinación usado en los ensayos fue de 0°. La Tabla 14 detalla los resultados.

Tabla 14. Resultados de las 6 pruebas realizadas al Estudiante 4

Nivel de Iluminación	Ángulo de Inclinación	Cantidad de palabras leídas	Cantidad de palabras No leídas	Tiempo (min)	%Tasa de Reconocimiento
Baja	0°	101	99	16	50,50
Baja	0°	97	103	16	48,50
Baja	0°	110	90	22	55,00
Baja	0°	115	85	24	57,50
Baja	0°	120	80	27	60,00
Baja	0°	146	54	30	73,00

Fuente: (Autor)

La Tabla 14 indica de manera individual las 6 pruebas ejecutadas, tomando valores de tiempo de lectura, cantidad de palabras leídas, y la tasa de reconocimiento.

Tabla 15. Valores máximos y mínimos de la Tasa de reconocimiento del estudiante 4

% TASA DE RECONOCIMIENTO			
	%	PALABRA LEÍDAS	TIEMPO (min)
Tasa de reconocimiento máximo	73	146	30 min
Tasa de reconocimiento mínimo	48.50	97	16 min

Fuente: (Autor)

Se observa que la mínima cantidad de palabras leídas fueron 97 y la máxima 146. Con los datos obtenidos se define que el dispositivo realiza la lectura promedio de 114,83 palabras en un tiempo de 22,50 minutos, con una tasa máxima de reconocimiento de 73% y una mínima de 48,50%.

4.1.2.5. Resultados del Estudiante 5.

Persona de 30 años que presenta un 85% de discapacidad visual. Se le realizaron las pruebas a las 9:00 pm. Se observa un nivel bajo de iluminación en el lugar donde se realizaron las pruebas. El ángulo de inclinación usado en los ensayos fue de 0°. La Tabla 16 contienen los resultados.

Tabla 16. Resultados de las 6 pruebas realizadas al Estudiante 5

Nivel de Iluminación	Ángulo de Inclinación	Cantidad de palabras leídas	Cantidad de palabras No leídas	Tiempo (min)	%Tasa de Reconocimiento
Baja	0°	138	62	26	69,00
Baja	0°	145	55	27	72,50
Baja	0°	141	59	28	70,50
Baja	0°	160	40	26	80,00
Baja	0°	163	37	26	81,50
Baja	0°	171	29	20	85,50

Fuente: (Autor)

La Tabla 16 indica de manera individual las 6 pruebas ejecutadas, tomando valores de tiempo de lectura, cantidad de palabras leídas, y la tasa de reconocimiento.

Tabla 17. Valores máximos y mínimos de la Tasa de reconocimiento del estudiante 5

% TASA DE RECONOCIMIENTO			
	%	PALABRA LEÍDAS	TIEMPO (min)
Tasa de reconocimiento máximo	85.50	171	20 min
Tasa de reconocimiento mínimo	69.00	138	26 min

Fuente: (Autor)

Se observa que la mínima cantidad de palabras leídas fueron 138 y la máxima 171. Con los datos obtenidos se concreta que el dispositivo realiza la lectura promedio de 153 palabras en un tiempo de 25,50 minutos, con una tasa máxima de reconocimiento de 85,50% y una mínima de 69%.

4.1.2.6. Resultados del Estudiante 6.

Persona de 26 años que presenta un 95% de discapacidad visual. Las pruebas se efectuaron a las 10:00 am. El lugar donde se hicieron las pruebas tenía un nivel alto de iluminación. El ángulo de inclinación usado en los ensayos fue de 0°. La Tabla 18 contiene los resultados.

Tabla 18. Resultados de las 6 pruebas realizadas al Estudiante 6

Nivel de Iluminación	Ángulo de Inclinación	Cantidad de palabras leídas	Cantidad de palabras No leídas	Tiempo (min)	%Tasa de Reconocimiento
Alto	0°	192	8	5	96,00
Alto	0°	190	10	5	95,00
Alto	0°	195	5	4	97,50
Alto	0°	189	11	4,5	94,50
Alto	0°	192	8	4	96,00
Alto	0°	178	22	5,5	89,00

Fuente: (Autor)

En la Tabla 18, indica de manera individual las 6 pruebas ejecutadas, tomando valores de tiempo de lectura, cantidad de palabras leídas, y la tasa de reconocimiento.

Tabla 19. Valores máximos y mínimos de la Tasa de reconocimiento del estudiante 6

% TASA DE RECONOCIMIENTO			
	%	PALABRA LEÍDAS	TIEMPO (min)
Tasa de reconocimiento máximo	97.50	195	4 min
Tasa de reconocimiento mínimo	89	178	5.5 min

Fuente: (Autor)

Se observa que la mínima cantidad de palabras leídas fueron 178 y la máxima 195. Con los datos obtenidos se precisa que el dispositivo realiza la lectura promedio de 189.33 palabras en un tiempo de 4,67 minutos, con una tasa máxima de reconocimiento de 97,50% y una mínima de 89%.

4.1.3. Resultados generales

Palabras leídas y el tiempo de lectura.

Como se puede observar en la Tabla 20, en el análisis de correlación del número de palabras leídas correctamente y el tiempo de lectura, el modelo que más se aproxima al comportamiento es el cúbico. Sin embargo, el coeficiente de correlación de 0.553 es decir que, aunque es el mejor de todos, no es un modelo óptimo.

Tabla 20. Resumen de la variable que indica el coeficiente de correlación y los elementos del modelo cúbico.

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de parámetro			
	R cuadrado	F	gl1	gl2	Sig.	Constant e	b1	b2	b3
Lineal	,435	26,230	1	34	,000	188,601	-2,015		
Cuadrático	,473	14,793	2	33	,000	206,995	-4,740	,075	
Cúbico	,533	12,161	3	32	,000	242,448	-13,289	,609	-,010

Si bien, se esperaría que mientras mayor sea el tiempo de lectura, mayor debería ser el número de palabras leídas correctamente, sin embargo, como se observa en la figura 21, sucede algo completamente diferente. Cuanto mayor es el tiempo menor es el número de palabras leídas correctamente, esto se debe a varios factores presentados en las pruebas realizadas a cada estudiante, tales como:

- Al realizar varias pruebas la batería disminuía por lo que el dispositivo presentaba un inconveniente al detectar las palabras.
- Las últimas pruebas mostradas en la figura 21 son de los estudiantes de 11 y 13 años de edad que por ser los más pequeños tuvieron más dificultad para comprender y entender el uso y funcionamiento del dispositivo.

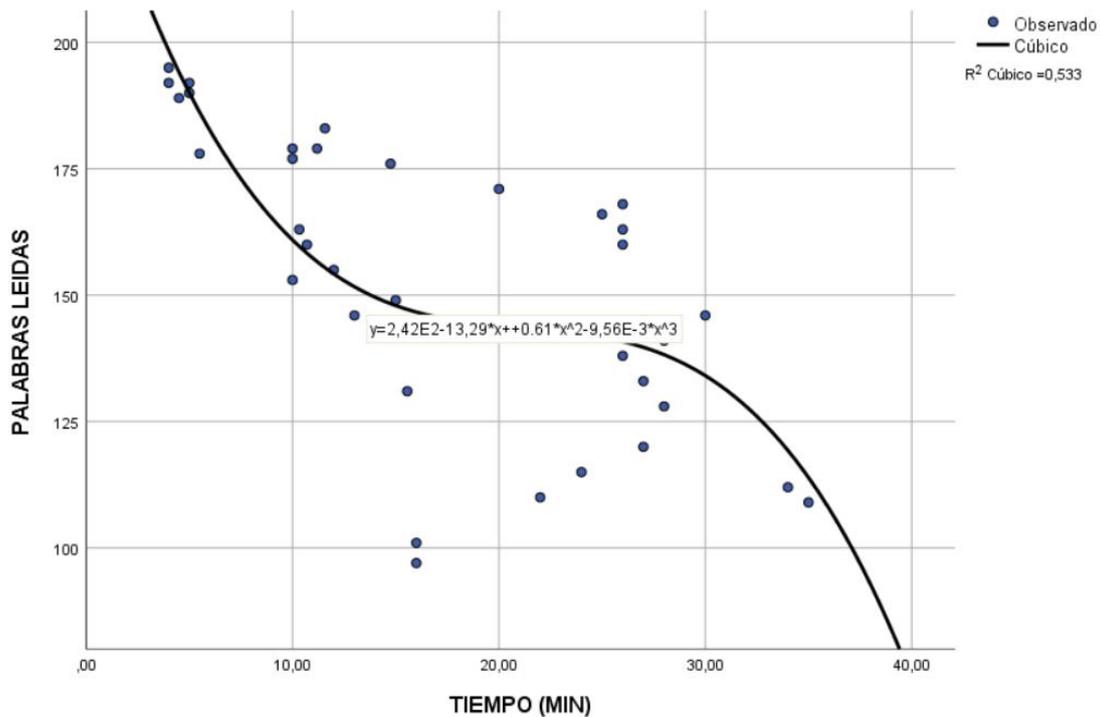


Figura 21. Gráfico de dispersión que muestra la cantidad de palabras leídas en diferentes tiempos de lectura

Fuente: (Autor)

Palabras leídas con la edad de los estudiantes.

De acuerdo a los resultados mostrados en la figura 22, se entiende que el estudiante de 26 años tiene mayor número de palabras leídas y no presenta una dispersión, es decir que el

estudiante tiene valores similares en sus pruebas; sin embargo, hay un valor atípico exactamente con la prueba número 36, esto se debe a que el estudiante del conjunto de pruebas realizadas exitosamente, en una de ellas cometió un error, el mismo que puede ser por causa humana o falla técnica del equipo.

En el caso del estudiante de 11 años, muestra valores muy dispersos en sus pruebas realizadas, es decir en la experiencia personal con las pruebas, el estudiante al ser el más joven se le dificultó entender el funcionamiento y uso del dispositivo, además presentó varios factores que impidieron el correcto desenvolvimiento.

- Al estudiante, por tener una contextura delgada el guante no se le ajustó en la muñeca de la mano, dificultando la manipulación del dispositivo.
- El estudiante al usar el dispositivo se sentía un poco ansioso.

El estudiante de 13 años de edad se interpreta que está bastante enfocado por la similitud de lecturas que presenta, sin embargo, sus lecturas son bajas. El que sus lecturas sean bajas se debe al nivel de iluminación en el que se desarrollaron las pruebas, en este caso fue un nivel de iluminación bajo.

Lo contrario al estudiante de 17 años, se interpreta que en la parte superior de la caja es menos disperso y tiene un alto porcentaje de palabras leídas, lo que indica que es un estudiante que también está bastante enfocado en todas sus pruebas.

La persona con 30 años de edad tiene un desenvolvimiento mucho mejor que el estudiante de 13 años, debido a la experiencia y madurez, las pruebas fueron realizadas en el mismo lugar con el mismo nivel de iluminación.

Un punto muy importante que se podría deducir es que mientras más edad tenga el estudiante mayor número de palabras leídas debería existir; sin embargo, no es así. En base a los datos de la figura 22, se observa que el número de palabras leídas no depende de la edad, si no de varios otros factores que presentaron los estudiantes. El estudiante de 26 años que logró leer el mayor número de palabras también presentó factores muy importantes.

- Experiencia de un nivel educativo mayor
- Su discapacidad visual la presento a sus 13 años, por lo que él ya tiene un conocimiento previo de cómo se desarrolla la lectura de un texto.
- Tiene mayor grado de discapacidad en referencia de los demás estudiantes, el cual tampoco es un factor que impida su desenvolvimiento con el dispositivo.

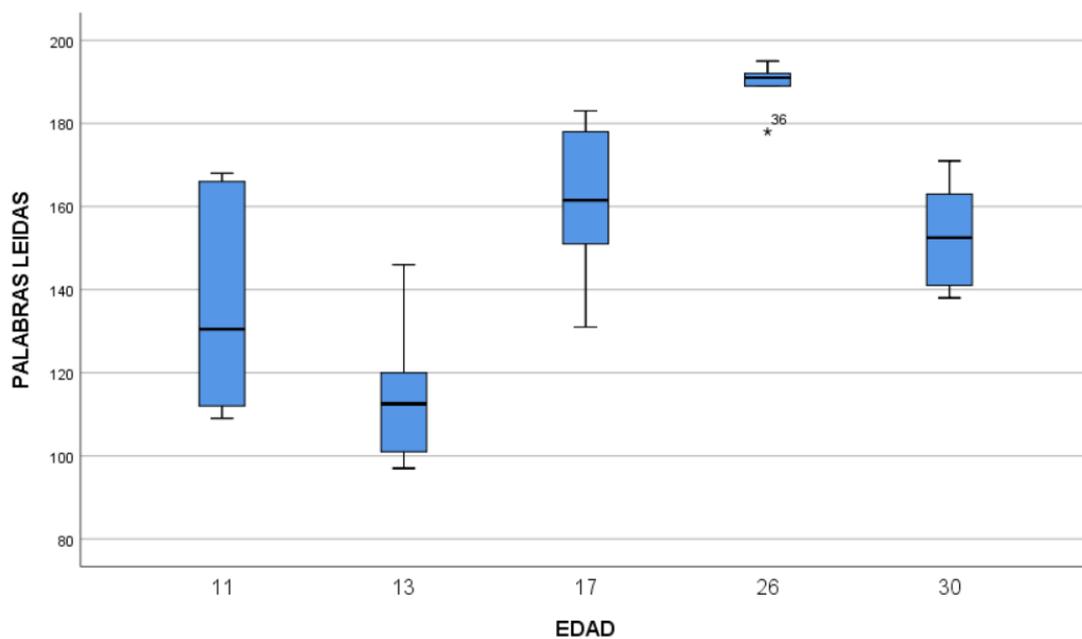


Figura 22. Representación mediante un diagrama de cajas evaluando las palabras leídas con la edad

Fuente: (Autor)

Palabras leídas con el nivel de iluminación

La figura 23 muestra los resultados en función de los niveles de iluminación utilizados y las palabras leídas correctamente. Se observa que el nivel de iluminación presenta los valores más altos de palabras leídas correctamente; sin embargo, se aprecia que es bastante disperso, esto debido a destellos de luz e imagen más blanca; a diferencia de lo que sucede con un nivel de iluminación media, el cual es mucho más homogéneo y compacto.

Al tener un nivel de iluminación bajo, los estudiantes que trabajaron en ese horario presentaron dificultades en la lectura ya que el dispositivo no lograba identificar ciertas palabras por la sombra que se generaba.

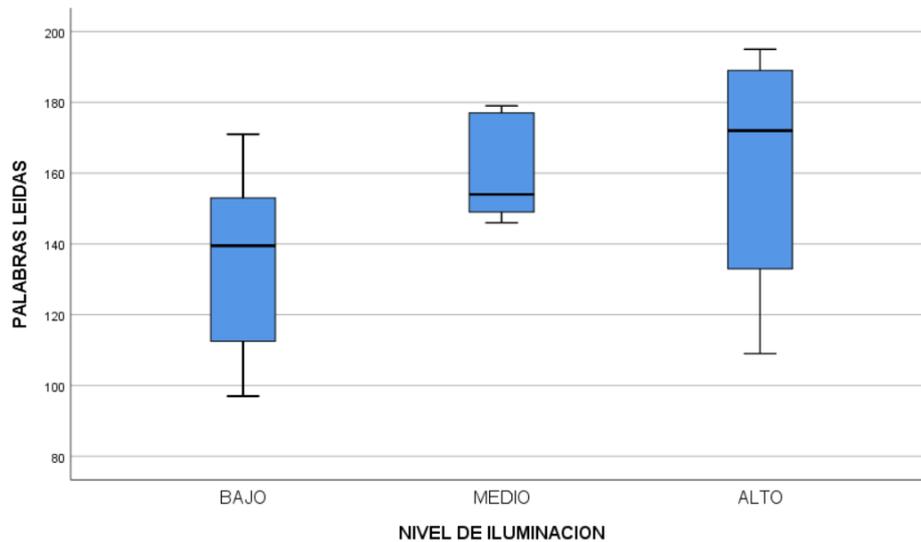


Figura 23. Representación mediante un diagrama de cajas evaluando las palabras leídas con el nivel de iluminación

Fuente: (Autor)

Comparación de medias (prueba ANOVA).

Como concepto la ANOVA es un conjunto o técnica estadística de dos variables, para identificar si están relacionadas en base a las medias, es decir si las variables dependientes son diferentes en las categorías o grupos de las variables independientes. Básicamente, la prueba Anova investiga si el promedio de un grupo del conjunto es igual o diferente a los demás grupos.

La hipótesis nula planteada en este apartado es:

En número de palabras leídas correctamente es independiente de la edad, es decir los promedios son iguales.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_k \quad (9)$$

Por otro lado, como hipótesis alternativa se tiene que el número de palabras leídas correctamente si depende de la edad y que al menos uno de los promedios es diferente de los demás.

$$H_1: \mu_i \neq \mu_j \quad \forall_{i,j} = 1,2,3, \dots \dots k \quad (10)$$

En la Tabla 21, se muestra el resultado de la prueba ANOVA para un valor de significancia (denotado como α) de 0.05, el cual indica un riesgo de 5%. Se observa que el valor de p es de 0.000 y al ser un valor menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula, por tanto, se puede decir que, estadísticamente, no todas las medias son iguales y que existe una dependencia del número de palabras leídas respecto a la edad.

Tabla 21. Tabla ANOVA que representa el valor p de un factor de datos

PALABRAS LEIDAS

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	19496,806	4	4874,201	17,033	,000
Dentro de grupos	8871,083	31	286,164		
Total	28367,889	35			

Fuente: (Autor)

Como se muestra en la Figura 24, se puede pensar que el estudiante con una edad de 26 años tiene la mayor efectividad de palabra leídas y el de 13 la menor. Sin embargo, en la Tabla 22 se aprecia tres subconjuntos homogéneos de acuerdo a la edad cuyas medias son estadísticamente iguales entre ellos; los estudiantes de 11 y 13 años, los estudiantes de 30, 17 y 11 años y los estudiantes de 17 y 26 años de edad. Es decir, en realidad los estudiantes de 17 y 26 años son los que presentaron mayor efectividad, mientras que los de 13 y 11 la menor.

Gráficos de medias

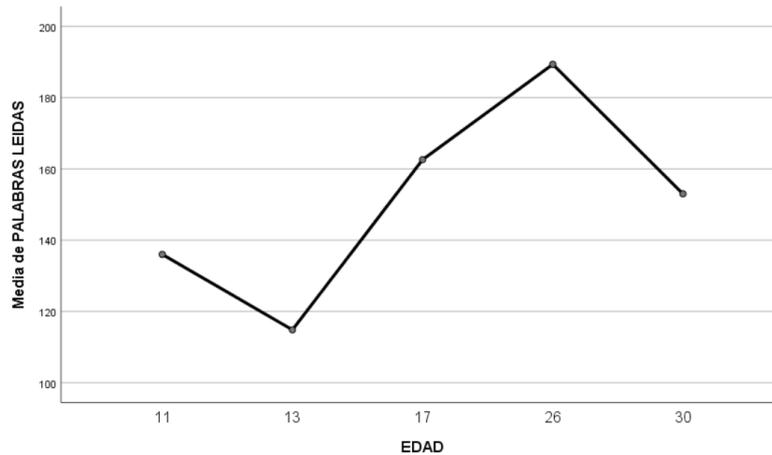


Figura 24. Representación gráfica de las medias de un factor de datos entre las palabras leídas y las edades de los estudiantes.

Fuente: (Autor)

Tabla 22. Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos por edades

Subconjuntos homogéneos

HSD Tukey^{a,b}

EDAD	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
13	6	114,83		
11	6	136,00	136,00	
30	6		153,00	
17	12		162,58	162,58
26	6			189,33
Sig.		,177	,053	,051

Fuente: (Autor)

La Tabla 23 contiene por cada participante el porcentaje de discapacidad visual, los valores de las variables de estudio: nivel de iluminacion, ángulo de inclinacion, promedio palabras leídas, promedio de tiempo de lectura del dispositivo y el promedio de la tasa de reconocimiento.

Tabla 23. Promedios generales de los 6 Estudiantes

Participante	% de Discapacidad	Nivel de Iluminación	Ángulo de Inclinación	Promedio de palabras leídas	Promedio de Tiempo (min)	Promedio de la %Tasa de Reconocimiento
Estudiante1	80%	Media	0°	159,83	11,67	79,91
Estudiante2	80%	Alta	0°	168,5	12,53	82,67
Estudiante3	84%	Alta	0°	136	29,17	68,00
Estudiante4	95%	Baja	0°	114,83	22,5	57,42
Estudiante5	85%	Alto	0°	153	25,5	76,50
Estudiante6	95%	Alta	0°	189,33	4,67	94,67

Fuente: (Autor)

En el análisis del resultado el dispositivo tiene una tasa mínima de reconocimiento de 57,42% y una máxima de 94,67%. En la Tabla 24 se detallan los valores promedio máximos y mínimos generales de la tasa de reconocimiento.

Tabla 24. Promedio de Valores máximos y mínimos generales de la Tasa de reconocimiento.

% TASA DE RECONOCIMIENTO				
	Nivel de iluminación	Promedio general % de la tasa de reconocimiento	Promedio general de palabras leídas	Promedio de tiempo general (min)
Tasa de reconocimiento máximo	Alto	94,67	189,33	4.67 min
Tasa de reconocimiento mínimo	Bajo	57,42	114,83	22.5 min

Fuente: (Autor)

En forma general el promedio de la tasa de reconocimiento de los valores obtenidos en las pruebas es de 76,53%, valor que indica que la implementación del Sistema de Lectura es bastante eficiente.

4.1.4. Grado de Satisfacción de los estudiantes

Adicionalmente a las pruebas técnicas y de funcionamiento del dispositivo, se llevó a cabo una encuesta de satisfacción respecto al uso de mismo. Las preguntas y respuestas se mencionan a continuación:

- ¿Cómo describiría el dispositivo?

Los estudiantes describieron de forma general que el dispositivo está bastante cómodo debido a que cuenta con una regleta, la cual no permite que la cámara se mueva y el guante se ajuste adecuadamente.

- ¿Cómo calificaría su experiencia con el dispositivo?
Malo – Bueno – Muy bueno

Todos los estudiantes calificaron al dispositivo como muy bueno y muy bueno debido a que es muy práctico y óptimo para que el estudiante entienda los textos. Además, cabe recalcar que algunos de los estudiantes aún están en el proceso de aprender la lectura en braille, por lo cual les sería más útil.

- ¿Considera que el dispositivo satisface sus necesidades? SI – NO

Todos los estudiantes respondieron que el dispositivo satisface sus necesidades, pero tenían ciertas recomendaciones que se muestran a continuación.

Recomendaciones

De la encuesta de satisfacción realizada a cada estudiante, se sacaron varias recomendaciones importantes que mencionaron al momento de realizar las pruebas.

- El dispositivo debe ser más liviano
- El dispositivo tiende a calentarse en las últimas pruebas y es un poco incómodo.

- El dispositivo se pueda desarrollar en otro material voluble para su mejor deslizamiento.
- El dispositivo pueda tener su propia iluminación, para poder trabajar en ambientes de iluminación bajos.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- El prototipo presenta un diseño ergonómico, es decir cómodo y eficiente y puede ser utilizado tanto por personas con disminución total de la visión como por personas con baja visión.

- Los ambientes con un nivel de iluminación óptimo, donde predominó la claridad, permitieron que el Sistema Electrónico de Lectura realice una mejor captura de las palabras leídas con una alta tasa de rendimiento; sin embargo, los resultados fueron muy dispersos, mientras que, con un nivel de iluminación medio, se obtuvieron menores porcentajes, pero más homogéneos.

- Los estudiantes de menor edad 11 y 13 años, no lograron manejar de manera adecuada el dispositivo, mientras que los de 17 años en adelante, manejaron mucho mejor y lograron mejores resultados

- Con las pruebas realizadas y la experiencia con los seis estudiantes se observó que las palabras no leídas eran palabras de una o dos sílabas, esto debido a los atascos de la regleta causados por la estructura física y el material de construcción.

- En general, se obtuvo una tasa de reconocimiento máxima de 94.67% y una tasa de reconocimiento mínima de 57.42 %, con lo que se concluye que el Sistema Electrónico de Lectura para discapacitados visuales y de baja visión resulto eficiente.

5.2. RECOMENDACIONES

- Para obtener mejor resultado de lectura se recomienda desarrollar el dispositivo en un material más suave, el cual permita un deslizamiento efectivo.
- Asimismo, se recomienda colocar un sistema de iluminación, con el fin de mejorar el nivel de iluminación del ambiente.
- Tener en cuenta que el dispositivo podría ser utilizado por personas zurdas o diestras.
- Al momento de utilizar varias pruebas verificar que el dispositivo tenga la suficiente comodidad para que el usuario no vaya a presentar un cansancio al momento de usarlo prolongadamente.
- Evaluar el dispositivo en distintos escenarios permite identificar posibles mejoras en el prototipo tanto en forma que se da la lectura como en la estructura.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] OMS-Organización Mundial de la Salud, «Día Internacional de las Personas con Discapacidad,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.who.int/es/news-room/events/detail/2020/12/03/default-calendar/international-day-of-persons-with-disabilitie>. [Último acceso: 18 06 2021].
- [2] OMS-Organización Mundial de la Salud, «Informe mundial sobre la discapacidad,» 2011. [En línea]. Available: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/INEC/INTOR/informe-mundial-discapacidad-oms.pdf>. [Último acceso: 18 junio 2021].
- [3] M. Sanchez C., «Incremento de la discapacidad visual a nivel mundial,» 29 Mayo 2020. [En línea]. Available: http://www.webmati.es/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=13&Itemid=160&limitstart=10. [Último acceso: 18 junio 2021].
- [4] Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades, «Estadísticas de Discapacidad,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-de-discapacidad>. [Último acceso: 18 Junio 2021].
- [5] Instituto Nacional de Estadísticas y Censos-INEC, «Ecuador cierra el 2016 con una inflación de 1,12%,» 18 junio 2021. [En línea]. Available: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/inflacion-diciembre-2016/>.
- [6] J. Vélez Caicedo, Diseño y desarrollo de dispositivo de lectura de textos para personas en situación de discapacidad visual, basado en redes neuronales profundas, Bachelor'sthesis, Universidad Autónoma de Occidente, 2019, pp. J.D. Vélez Caicedo. (2019). Diseño y desarrollo de dispositivo de lectura de textos para personas en situación de discapacidad visual, basado en redes neuronales profundas (Bachelor'sthesis, Universidad Autónoma de Occidente). Disponible en: <https://red..>
- [7] R. Espada Chavarría, M. B. Gallego Condoy y R. H. González Montesino, «Diseño Universal del Aprendizaje e Inclusión en la Educación Básica en Ecuador,» *ALTERIDAD*, 2019.
- [8] R. López González, «Detección de texto en escenas naturales (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València),» 2017. [En línea]. Available: <http://hdl.handle.net/10251/92594>.
- [9] R. Shilkrot, J. Huber, C. Liu, P. Maes y S. C. Nanayakkara, «FingerReader: a wearable device to support text reading on the go,» *In CHI'14 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pp. 2359-2364, 2014.
- [10] J. Engelsma, S. Arora, A. Jain y N. G. Paulte, «Universal 3D Wearable Fingerprint Targets: Advancing Fingerprint Reader Evaluations,» in *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, Junio 2018. [En línea]. Available:

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8267123>. [Último acceso: 30 julio 2021].

- [11] R. Shilkrot, J. Huber, W. MengEe, P. Maes y S. y Nanayakkara, «FingerReader: a wearable device to explore printed text on the go,» *In Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 2363-2372, 2015.
- [12] J. Froehlich, R. Du, U. Oh, Y. Wang, L. Findlater, R. Chellappa y L. Stearns, «The design and preliminary evaluation of a finger-mounted camera and feedback system to enable reading of printed text for the blind,» *In European Conference on Computer Vision Springer, Cham* , pp. 615-631, 2014.
- [13] S. Nanayakkara, S. Shilkrot, K. Yeo y P. Maes, «EyeRing: a finger-worn input device for seamless interactions with our surroundings,» *In Proceedings of the 4th Augmented Human International Conference*, pp. 13-20, 2013.
- [14] O. Castellero, «Psicología y Mente,» 2021. [En línea]. Available: <https://psicologiymente.com/salud/tipos-de-discapacidad>. [Último acceso: 19 junio 2021].
- [15] R. Bustos-Silva y G. García-Núñez, «Discapacidad y problemática familiar,» *Paakat: Revista de Tecnología y Sociedad*, 2015.
- [16] Grupo Social ONCE, «Discapacidad visual,» 2013. [En línea]. Available: <https://www.once.es/dejanos-ayudarte/la-discapacidad-visual>. [Último acceso: 19 junio 2021].
- [17] M. Cáceres Oviedo, S. Arias Valencia y A. HernándezQuirama, «Configuración histórica de la discapacidad visual y sus implicaciones para la salud pública,» *Salud UIS*, 51(3), pp. 252-261, 2019.
- [18] A. Astobiza Monasterio, «Ética algorítmica: Implicaciones éticas de una sociedad cada vez más gobernada por algoritmos,» *Dilemata*, (24), pp. 185-217, 2017.
- [19] V. Valenzuela, Manual de análisis y diseño de algoritmos. (I. N. Chile, Ed.), 2003.
- [20] J. Fernández y V. Sandonís-Consuegra, «Reconocimiento Óptico de Caracteres (OCR). Universidad Carlo,» 2008. [En línea]. Available: <http://www.it.uc3m.es/jvillena/irc/practicas/08-09/09.pdf>.
- [21] G. Ángel, Y. Segura y G. Burlak, «Reconocimiento de caracteres mediante OCR (Optical Character Recognition),» *Programación Matemática y Software*, 1 (10), pp. 44-56, 2018.
- [22] A. Blasco López y F. Félez Esteban, Reconocimiento de Caracteres Manuscritos, 2016.
- [23] Decidesoluciones, Reconocimiento de texto. Que es y cómo funciona, 2020.
- [24] J. Sánchez-García, «Acción Social,» *Revista de Política Social y Servicios Sociales*, 5 abril 2017.
- [25]

P. López Roldán, S. Fachelli, «METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION SOCIAL CUANTITATIVA,» *Barcelona*, pp. 20-23, 2015.

- [26] I. Figueroa Marín, «Manual Programación C++ con Placa Esp32 IoT,» 2020. [En línea]. Available:
<http://ri.utn.edu.mx/bitstream/handle/123456789/666/MANUAL%20DE%20PR%20C3%81CTICAS%20ESP32.pdf?sequence=1>. [Último acceso: 19 junio 2021].
- [27] Zamora Ortiz, F. (2009, 13 de marzo). Fundamentos de Morfología Matemática. RUA: Principal.
https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/10053/5/Ortiz-Zamora-Francisco-Gabriel_4.pdf
[Último acceso: 12 octubre 2021]
- [28] Función Bitwise Not. (s. f.). ArcGIS Pro.
<https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/analysis/raster-functions/bitwise-not-function.htm>
- [29] Rebaza, J. V. (2007). Detección de bordes mediante el algoritmo de Canny. *Escuela Académico Profesional de Informática. Universidad Nacional de Trujillo*, 4.

ANEXOS

Anexo A. Instalación de las Librerías del Arduino para ESP32-CAM

- 1.- Descargar e instalar la versión más reciente de Arduino IDE, ir al enlace (link) <https://www.arduino.cc/en/software>
- 2.- Instalación del driver del EPS32 en el Arduino IDE.
 - 2.1. En el menú principal ir a Archivo → preferencias →Gestor de URL agregar lo siguiente: https://dl.espressif.com/dl/package_esp32_index.json (ver Figura 25).

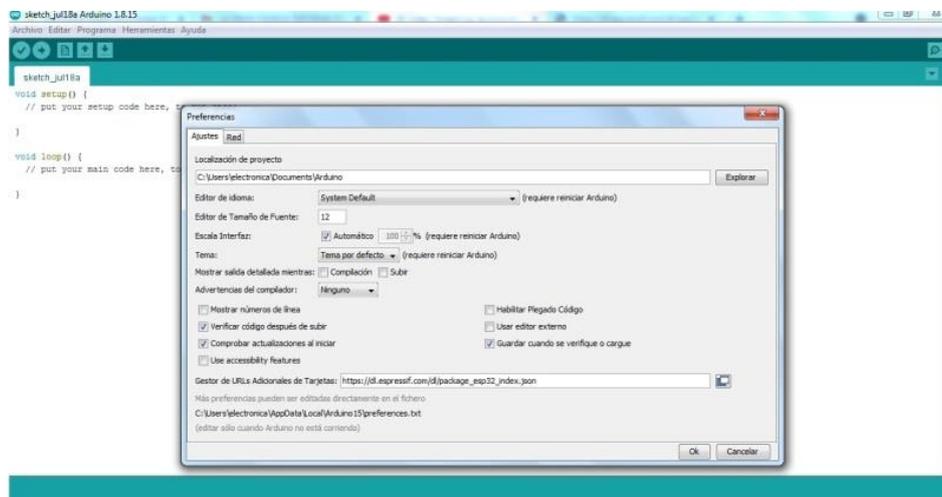


Figura 25. Anexo. Instalación del driver del EPS32 paso1

Fuente: (Autor)

- 2.2. Luego en el menú principal ir a Herramientas → Placas Gestor de Tarjetas (ver Figura 26).

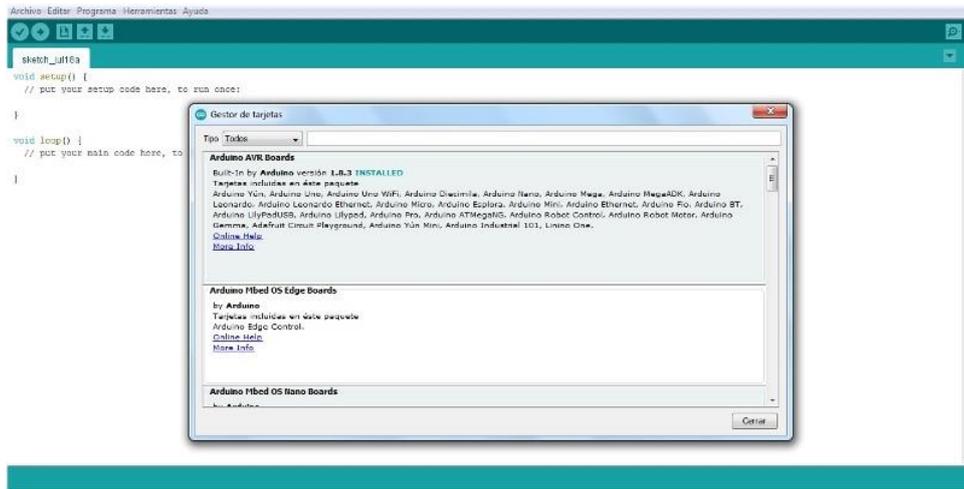


Figura 26. Anexo. Instalación del driver del EPS32 paso2
Fuente: (Autor)

2.3. Escribir ESP32 e instalar (ver Figura 27 - 28).

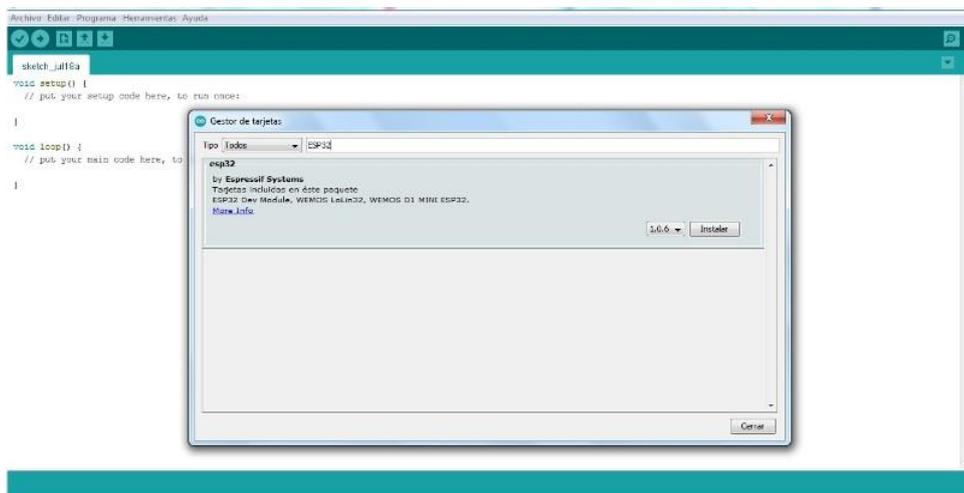


Figura 27. Anexo. Instalación del driver del EPS32 paso3
Fuente: (Autor)

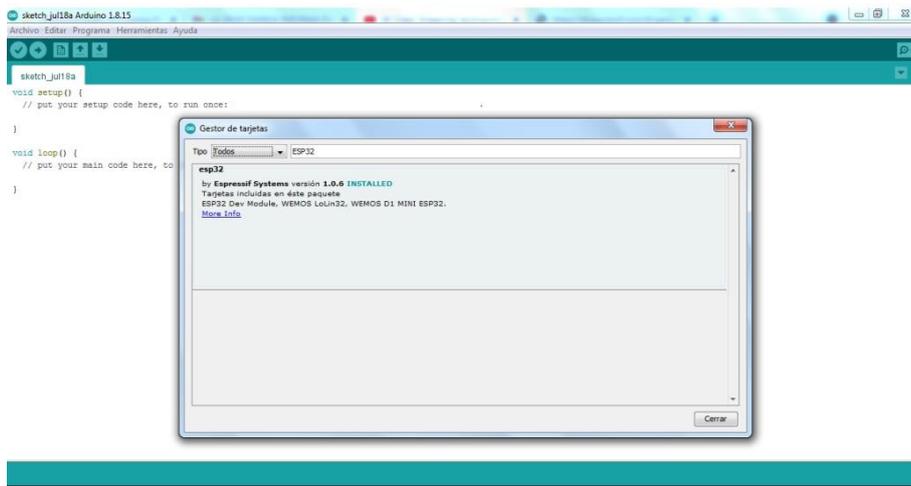


Figura 28. Anexo. Instalación del driver del EPS32 paso4
Fuente: (Autor)

2.4. Los drives del ESP32 ya se encuentran en el Arduino IDE como se observa en la Figura 29. Se selecciona el modelo del módulo, en este caso el Doit ESP32 Devkit V1

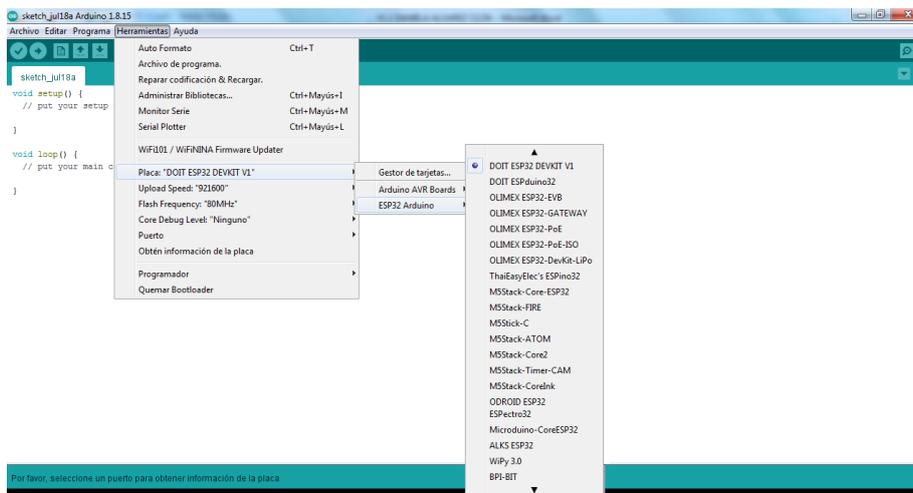


Figura 29. Anexo. Instalación del driver del EPS32 paso5
Fuente: (Autor)

2.5. Finalmente se configura la cámara con los valores de la red wifi a utilizar. En el menú principal, se sigue la siguiente ruta Archivos → Ejemplos→ ESP32→ Camera→ Camerawebserver y se actualiza los valores del módulo. Asimismo, en el recuadro rojo se indica las líneas donde se van a colocar el nombre de la red wifi y la contraseña. Figura 30.

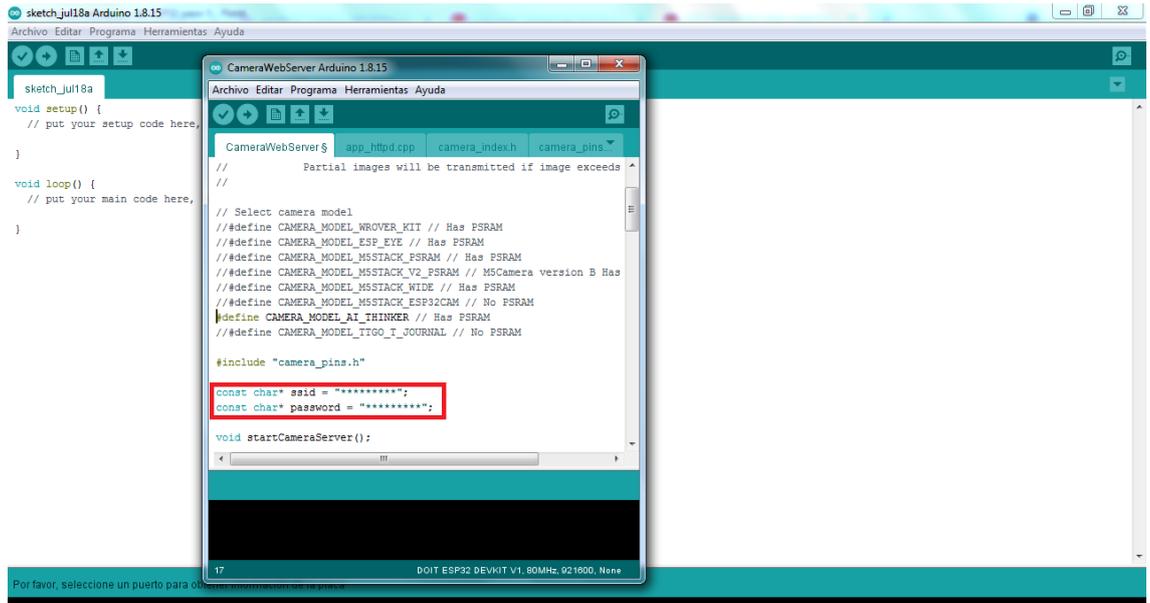


Figura 30. Anexo. Instalación del driver del EPS32 paso6
Fuente: (Autor)

Anexo B. Conexiones del ESP32 con adaptador universal USB

Se requirió de un adaptador universal USB To TTL (FTDI FT232), el cual se conectó al ESP32-CAM de la siguiente manera: los pines de alimentación en ambos dispositivos se conectan, 5V y GND, el pin UOR y el UOT del ESP32-CAM se conectan respectivamente al TXD y el RXD del módulo USB, es importante resaltar que durante la programación se puntearon los pines GPIO0 y el GND del ESP32, En la Figura 8 se observan las conexiones explicadas.

De la información consultada en el Manual de Practicas ESP32 y el DataSheet del FTDI FT232 Manual se construyen las Tablas 25 y 26, respectivamente, en las cuales se describen los pines utilizados en las conexiones descritas anteriormente:

Tabla 25. Anexo. ESP32-CAM

Pin	Descripción	Observación
VCC	Voltaje de Entrada 5VDC	Para energizar el Sistema, puede usarse una batería de litio
GND	0 V	Ground
GPIO 0	CSI_MCLK	Se puente con GND para la carga de programas
GND	0 V	Ground
GPIO 1	UOTXD	Pin de comunicación Transmite
GPIO 3	UORXD	Pin de comunicación Recibe

Fuente: (Autor)

Tabla 26. Anexo. Adaptador FTDI FT232

Pin	Descripción	Observación
VCC	Voltaje de Entrada 5VDC	Para energizar el Sistema, puede usarse una batería de litio
GND	0 V	Ground
TX		Pin de comunicación Transmite
RX		Pin de comunicación Recibe

Fuente: (Autor)

Anexo C. Instalación del Software

La instalación de la aplicación se realizó siguiendo los siguientes pasos:

1. Instalar la aplicación, APK, en el dispositivo móvil.
2. Encender el prototipo, se hace usando un switch.
3. Conectar a la red interna SSID: Lector con la clave establecida
4. Ingresar la IP 192.168.4.1 que tiene por defecto el módulo ESP32-CAM.
5. Ingresar a la interfaz gráfica donde muestra cuatro opciones:
 - 5.1. Configuración WiFi, escanea la red y se conecta a la red externa, como se indica en la Figura 31.



Figura 31. Anexo. Conexión a la red WiFi.

Fuente: (Autor)

- 5.2. Configuración wifia manual
- 5.3. Información
- 5.4. Resetear
6. Ingresar a la APK, una vez obtenido la imagen de video en tiempo real.
7. Seleccionar la opción de Calibración, ver Figura 32.

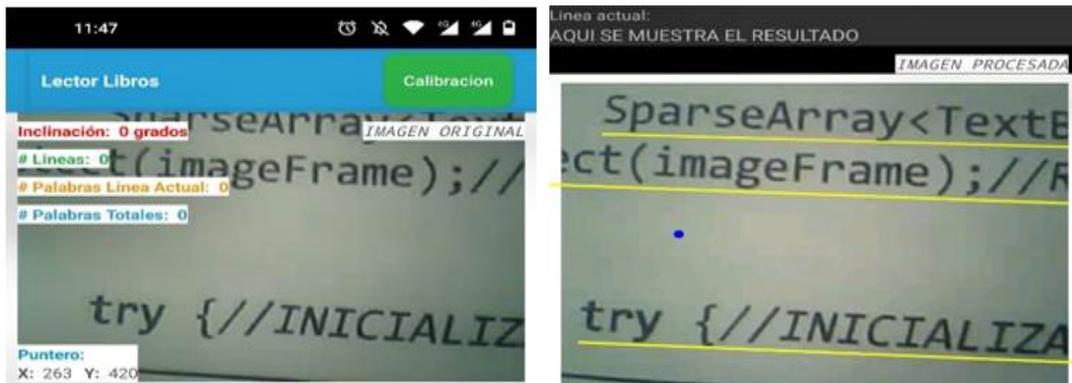


Figura 32. Anexo. Calibración de la Imagen.

Fuente: (Autor)

8. Vincular el dispositivo y Guardar. Figura 33.

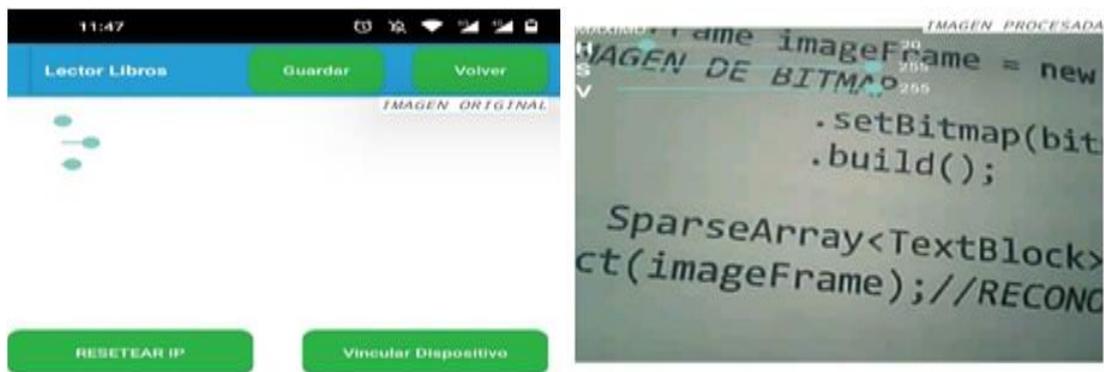


Figura 33. Anexo. Vincular y Guardar.

Fuente: (Autor)

9. Conectar a la red Externa.

10. Abrir la APP nuevamente.

11. Se detecta la primera palabra e indica mediante audio que se presione el botón para iniciar con la lectura.

12. Empieza la lectura palabra a palabra.

13. Indica mediante un pitido el inicio de línea y mediante una vibración fin de línea para que el lector no vidente pueda identificar cuando inicia una línea y la finaliza. Ver Figura 34.

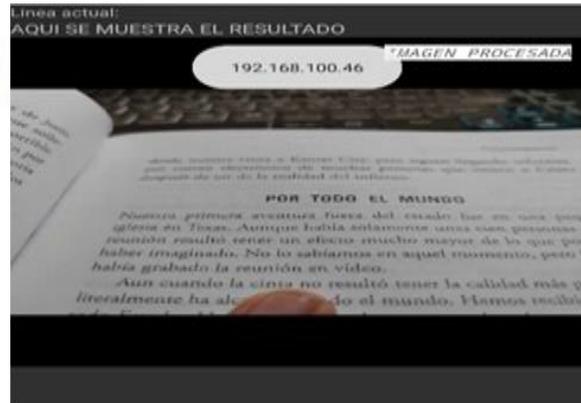


Figura 34. Anexo. Lectura Palabra a Palabra.
Fuente: (Autor)

Anexo D. Documentación Gráfica de las Pruebas

NOMBRE	EDAD	% DISCAPACIDAD	PALABRAS ESTABLECIDAS	NUMERO DE PRUEBA	NIVEL DE ILUMINACION	ANGULO DE INCLINACION	PRUEBA		
							PALABRAS LEIDAS	TIEMPO DE LECTURA	TIPO DE TEXTO LEIDO
Angel Hernandez	17	80%	200	1	La prueba se realizo en la noche a partir de las 5 pm	LINEAL	Leidas: 149 No Leidas: 51	15 minutos	Segmento de un libro
				2	La prueba se realizo en la noche a partir de las 5 pm	LINEAL	Leidas: 153 No Leidas: 41	10 minutos	Segmento de un libro
				3	La prueba se realizo en la noche a partir de las 5 pm	LINEAL	Leidas: 155 No Leidas: 45	12 minutos	Segmento de un libro
				4	La prueba se realizo en la noche a partir de las 5 pm	LINEAL	Leidas: 146 No Leidas: 54	13 minutos	Segmento de un libro
				5	La prueba se realizo en la noche a partir de las 5 pm	LINEAL	Leidas: 177 No Leidas: 27	10 minutos	Segmento de un libro
				6	La prueba se realizo en la noche a partir de las 5 pm	LINEAL	Leidas: 179 No Leidas: 22	10 minutos	Segmento de un libro
				1	La prueba se realizo en la noche a partir de las 9 am	LINEAL	LECTURA POR LINEA 1. PRIMERA LINEA: Leidas: 15 No Leidas: 2 2. SEGUNDA LINEA: Leidas: 6 No Leidas: 10 3. TERCERA LINEA: Leidas: 13 No Leidas: 2 4. CUARTA LINEA: Leidas: 3 No Leidas: 3 5. QUINTA LINEA: Leidas: 11 No Leidas: 3 6. SEXTA LINEA: Leidas: 10 No Leidas: 3 7. SEPTIMA LINEA: Leidas: 14 No Leidas: 0 8. OCTABA LINEA: Leidas: 14 No Leidas: 1 9. NOVENA LINEA: Leidas: 8 No Leidas: 3 10. DECIMA LINEA: Leidas: 12 No Leidas: 2 11. ONCEABA LINEA: Leidas: 15 No Leidas: 2 12. DOCEABA LINEA: Leidas: 12 No Leidas: 2 13. TRECEABA LINEA: Leidas: 15 No Leidas: 0 14. CATORCEABA LINEA: Leidas: 10 No Leidas: 1 15. QUINCEABA LINEA: Leidas: 5 No Leidas: 3	1. Tiempo: 1,30 min 2. Tiempo: 0,40 min 3. Tiempo: 0,35 min 4. Tiempo: 1,30 min 5. Tiempo: 1,00 min 6. Tiempo: 1,00 min 7. Tiempo: 1,35 min 8. Tiempo: 0,36 min 9. Tiempo: 0,37 min 10. Tiempo: 0,30 min 11. Tiempo: 0,30 min 12. Tiempo: 1,22 min 13. Tiempo: 1,35 min 14. Tiempo: 1,00 min 15. Tiempo: 0,40 min TIEMPO TOTAL: 10,33 MIN	Segmento de un libro

Figura 35. Anexo. Datos.

Fuente: (Autor)

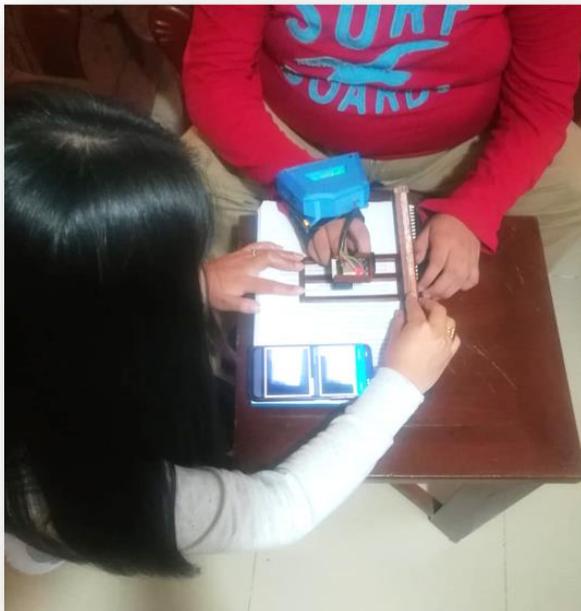


Figura 36. Anexo. Estudiante 1

Fuente: (Autor)



Figura 37. Anexo. Estudiante 2
Fuente: (Autor)



Figura 38. Anexo. Estudiante 3
Fuente: (Autor)

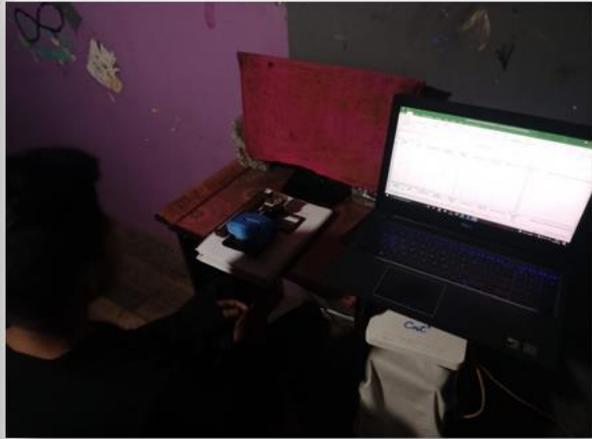


Figura 39. Anexo. Estudiante 4
Fuente: (Autor)



Figura 40. Anexo. Estudiante 5
Fuente: (Autor)

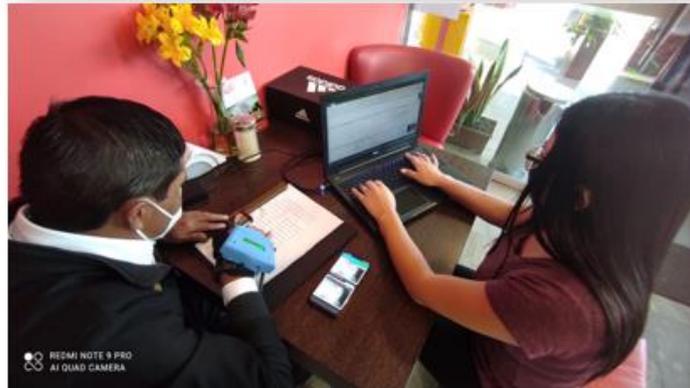
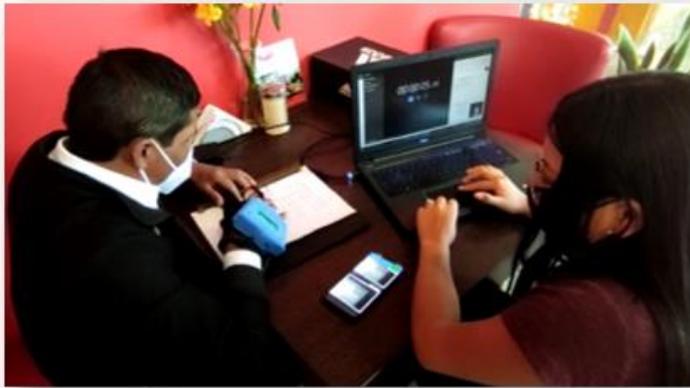


Figura 41. Anexo. Estudiante 6
Fuente: (Autor)