

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica-Eléctrica y
Mecatrónica



Diseño e implementación de un dispositivo electrónico de lectura de sistema
Braille para personas invidentes que utilicen el idioma español

Tesis presentada por el Bachiller:

Gonzales Davila, Jesus Eduardo

ORCID: 0009-0007-6886-981X

para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecatrónico

Asesor:

Mg. Cuadros Machuca, Juan Carlos

ORCID: 0000-0002-2509-052X

Arequipa - Perú

2024

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
INGENIERIA MECANICA, MECANICA-ELECTRICA Y MECATRONICA
TITULACIÓN CON TESIS
DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 29 de Agosto del 2024

Dictamen: 009560-C-EPIMMEM-2024

Visto el borrador del expediente 009560, presentado por:

2014201731 - GONZALES DAVILA JESUS EDUARDO

Titulado:

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO DE LECTURA DE SISTEMA
BRAILLE PARA PERSONAS INVIDENTES QUE UTILICEN EL IDIOMA ESPAÑOL**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Titulo Profesional/Titulo de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO MECATRÓNICO

**29592341 - MESTAS RAMOS SERGIO ORLANDO
DICTAMINADOR**



**40302702 - QUISPE CCACHUCO MARCELO JAIME
DICTAMINADOR**



**46292714 - SILES NATES FERNANDO DAVID
DICTAMINADOR**



Diseño e implementación de un dispositivo electrónico de lectura de sistema Braille para personas invidentes que utilicen el idioma español

INFORME DE ORIGINALIDAD

13%

INDICE DE SIMILITUD

12%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
2	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1%
3	repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet	<1%
4	1library.co Fuente de Internet	<1%
5	dspace.esPOCH.edu.ec Fuente de Internet	<1%
6	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1%
7	Submitted to Universidad TecMilenio Trabajo del estudiante	<1%
8	acrilux.com.ec Fuente de Internet	<1%

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres Lida y Eduardo. Gracias a su apoyo y comprensión podré dedicarme a mi pasión por el desarrollo de tecnología y espero así ayudar a nuestro país y especie. También a mi hermana Laura por ayudarme a aliviar las preocupaciones que se presentaron en este camino. A mi pareja Andrea por su gran ayuda. Finalmente, a mi familia en general que estuvieron toda mi vida.



Agradecimiento

Agradezco a Dios por todo lo que me dio y todo lo que me permite lograr. A mis padres, a mi hermana, a mi pareja y a mi familia en general. Además, a todos los investigadores y creadores del conocimiento previo que sirvió de fundamento para este proyecto. A los autores de las novelas que me enseñaron a soñar y pensar en grande.



RESUMEN

El siguiente trabajo consiste en el desarrollo de ingeniería de un dispositivo de lectura electrónico del sistema Braille para solucionar el problema de accesibilidad de información escrita para las personas invidentes o con visión limitada.

En el Capítulo I: Marco metodológico se determina, describe y justifica la necesidad real que se tiene en la sociedad respecto del problema para ser resuelto por esta investigación. Se determina que existe un problema en el acceso a la información escrita para las personas con discapacidad visual que afecta directamente en su educación y que también viene ligado a un problema de falta de inclusión social para personas con discapacidad en Perú. Se concluye que una investigación para llegar a una solución a este problema es viable, gracias a las tecnologías que se tienen hoy en día. Además, se establecen los alcances y limitaciones del proyecto, que, si bien soluciona el problema es el primer paso a un producto final que pueda ir mejorando con el tiempo y resuelva este problema de accesibilidad de la mejor manera para la población peruana con esta discapacidad. Se desarrolló la hipótesis que establece que se puede desarrollar un dispositivo electrónico de lectura con código Braille en Perú. Se establecieron las variables dependientes e independientes de las variables, para posteriormente realizar una operacionalización de estas variables. Se analizaron los antecedentes que hay en el país, así como antiguos dispositivos e investigaciones que hayan tocado el tema de esta investigación para que sirvan como punto de inicio.

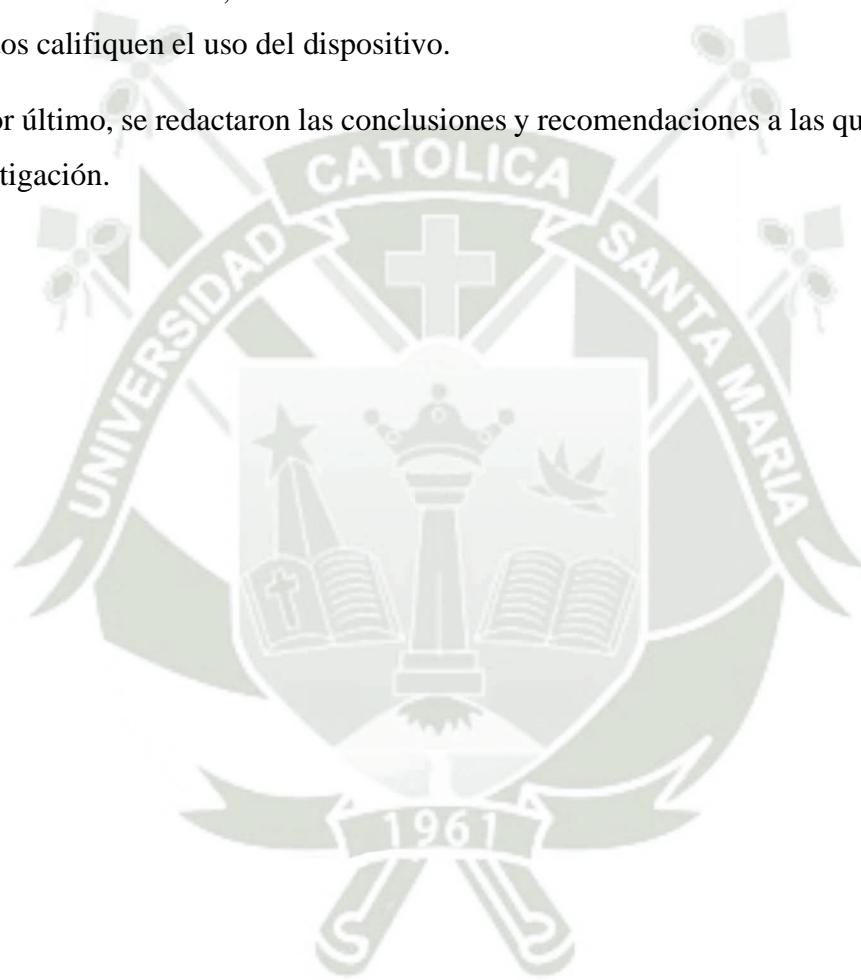
En el Capítulo II: Marco teórico, se explora toda la teoría relevante para esta investigación. Se empieza revisando el origen y propósito que tiene el sistema Braille. Posteriormente se repasa la teoría de los diversos elementos que debe tener un dispositivo de lectura en sistema Braille y cuáles son los principios de funcionamiento de todos estos elementos que, unidos, ayudarán a que este dispositivo funcione de manera correcta y logre solucionar el problema visto anteriormente bajo los lineamientos establecidos, también en el capítulo anterior.

En el Capítulo III: Desarrollo del proyecto, se aborda primero el diseño del producto, estableciendo exigencias y deseos del dispositivo para conocer los requerimientos que debe cumplir este. Se seleccionan las tecnologías más adecuadas para el producto teniendo en cuenta que cumplan las exigencias y deseos de la mejor manera por medio de tablas de ponderación que evalúan su desempeño. Se realizan los cálculos necesarios para que el actuador desarrollado funcione de manera adecuada. Se diseña y hacen los cálculos necesarios para que la placa

electrónica pueda controlar el dispositivo. Se diseña el esquema de la arquitectura que debe seguir el software para poder controlar el dispositivo. Finalmente se implementa el dispositivo con todos los elementos desarrollados que deben trabajar en conjunto.

En el Capítulo IV: Pruebas y evaluaciones, se realizan las pruebas de funcionamiento necesarias para corroborar que el dispositivo cumple con su finalidad de resolver el problema de manera adecuada. Se evalúa el desempeño del dispositivo colocando los porcentajes de errores que tiene. Además, se realizaron encuestas de satisfacción de usuario para que los encuestados califiquen el uso del dispositivo.

Por último, se redactaron las conclusiones y recomendaciones a las que se llegaron con esta investigación.



Palabras claves:

Discapacidad, lector, visión.

ABSTRACT

The following work consists of the engineering development of an electronic Braille reading device to solve the problem of accessibility of written information for blind or visually impaired people.

Chapter I: Methodological Framework determines, describes and justifies the real need that exists in society regarding the problem to be solved by this research. It is determined that there is a problem in the access to written information for people with visual impairment that directly affects their education and is also linked to a problem of lack of social inclusion for people with disabilities in Peru. It is concluded that a research to reach a solution to this problem is feasible, thanks to the technologies available today. In addition, the scope and limitations of the project are established, which, although it solves the problem, it is the first step to a final product that can be improved over time and solve this accessibility problem in the best way for the Peruvian population with this disability. The hypothesis was developed, which establishes that an electronic reading device with Braille code can be developed in Peru. The dependent and independent variables of the variables were established, to later make an operationalization of these variables. The antecedents that exist in the country were analyzed, as well as old devices and investigations that have touched the subject of this research to serve as a starting point.

Chapter II: Theoretical Framework explores all the theory relevant to this research. It begins by reviewing the origin and purpose of the Braille system. Subsequently, the theory of the different elements that a Braille reading device must have is reviewed, as well as the principles of operation of all these elements that, together, will help this device to work correctly and solve the problem previously seen under the guidelines established in the previous chapter.

In Chapter III: Development of the project, the design of the product is addressed first, establishing the demands and desires of the device in order to know the requirements it must meet. The most appropriate technologies for the product are selected, taking into account that they meet the requirements and desires in the best way by means of weighting tables that evaluate their performance. The necessary calculations are made so that the developed actuator works properly. The necessary calculations are designed and made so that the electronic board can control the device. The architecture scheme that the software must follow to control the

device is designed. Finally, the device is implemented with all the developed elements that must work together.

In Chapter IV: Tests and evaluations, the necessary functional tests are performed to corroborate that the device fulfills its purpose of solving the problem adequately. The performance of the device is evaluated by placing the percentages of errors it has. In addition, user satisfaction surveys were conducted for respondents to rate the use of the device.

Finally, the conclusions and recommendations reached with this research were written.



Key words:

Disability, reader, vision.

ÍNDICE

Dedicatoria	
Agradecimiento	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	1
Capítulo I: Marco Metodológico	2
1.1. Determinación del problema.....	2
1.2. Descripción del problema.....	2
1.2.1. El enunciado del problema.....	2
1.2.2. Formulación del problema.....	3
1.3. Área de conocimiento.....	3
1.4. Justificación del problema.....	3
1.4.1 Justificación de la investigación.....	3
1.4.1.1. Nivel Académico.....	3
1.4.1.2. Nivel Económico.....	3
1.4.1.3. Nivel Social.....	4
1.4.2. Viabilidad de la investigación.....	5
1.5. Objetivos de la investigación.....	5
1.5.1. Objetivos General.....	5
1.5.2. Objetivos Específicos.....	5
1.6. Alcances y limitaciones.....	6
1.6.1. Alcances.....	6
1.6.2. Limitaciones.....	6
1.7. Hipótesis.....	6
1.8. Variables de la investigación.....	7
1.8.1. Variables independientes.....	7
1.8.2. Variable dependiente.....	7
1.9. Antecedentes.....	7
Capítulo II: Marco teórico	17
2.1. Sistema de escritura Braille.....	17
2.2. Tecnologías para un actuador Braille.....	17
2.2.1. Aleaciones con memoria de forma (SMA).....	17

2.2.2.	Electroimanes (solenoides).....	18
2.2.3.	Ferrofluidos	18
2.2.4.	Microfluidos y nanofluidos	18
2.3.	Elementos electrónicos de un dispositivo Braille.....	19
2.3.1.	Microcontrolador	19
2.3.2.	Optoacoplador.....	20
2.3.3.	Transistor.....	21
2.3.4.	Transistor MOSFET.....	21
2.3.5.	Fusible	21
2.3.6.	Resistencia.....	22
2.3.7.	Capacitor	23
2.3.8.	Diodo.....	23
2.4.	Carcasa	24
2.4.1.	Acrílico.....	24
2.4.2.	Policarbonato	25
2.4.3.	Aluminio.....	25
2.4.4.	PLA Ácido Poliáctico	26
2.4.5.	ABS Acrilonitrilo Butadeino Estireno	26
2.5.	Alimentación de dispositivos electrónicos	26
2.5.1.	Fuente DC.....	26
2.5.2.	Batería de polímero de Litio.....	27
2.6.	Circuito impreso	27
2.7.	Sistema operativo	28
2.8.	Lenguaje C	29
2.9.	Lenguaje C#	29
Capítulo III: Desarrollo del proyecto		31
3.1.	Diseño.....	31
3.1.1.	Caja negra.....	31
3.1.2.	Tabla de deseos y exigencias.....	31
3.1.3.	Selección de tecnologías	32
3.1.3.1.	Tecnología de empuje del actuador.....	32
3.1.3.2.	Tecnología de enclavamiento del actuador.....	33
3.1.3.3.	Tecnología de manufactura del actuador.....	34
3.1.3.4.	Tecnología de manufactura de la carcasa	35
3.1.3.5.	Tecnología para activación del actuador	36
3.1.3.6.	Tecnología para multiplicación de palabra de salida	37
3.1.4.	Microcontrolador	37

3.1.5.	Tecnología de almacenamiento	38
3.1.6.	Ingeniería del diseño	39
3.1.7.	Actuador	40
3.1.7.1.	Mecanismo de desplazamiento	40
3.1.7.2.	Electroimán.....	43
3.1.7.3.	Resorte	45
3.1.8.	Circuitos electrónicos.....	47
3.1.8.1.	Circuito electrónico de accionamiento de actuador	47
3.1.8.2.	Circuito de fuente de alimentación.....	50
3.1.8.3.	Circuito de multiplicación de palabra	52
3.1.8.4.	Circuito del microcontrolador.....	53
3.1.8.5.	Circuito comunicación de tarjeta micro SD.....	55
3.1.8.6.	Tarjeta PCB.....	56
3.1.8.7.	Circuito electrónico de accionamiento de actuador	58
3.1.8.8.	Circuito de fuente de alimentación.....	58
3.1.8.9.	Circuito de conexión de salida de shift register a transistor mosfet.....	59
3.1.8.10.	Circuito de alimentación para los shift register	59
3.1.8.11.	Circuito de alimentación del microcontrolador	59
3.1.8.12.	Otras pistas.....	60
3.1.9.	Software de control.....	60
3.1.9.1.	Ámbito del sistema.....	60
3.1.9.2.	Perspectiva del producto.....	60
3.1.9.3.	Funciones del producto.....	60
3.1.9.4.	Características de los usuarios	60
3.1.9.5.	Restricciones del software	61
3.1.9.6.	Suposiciones y dependencias.....	61
3.1.9.7.	Atributos del sistema.....	62
3.1.9.8.	Casos de uso.....	62
3.1.9.9.	Arquitectura	64
3.2.	Implementación.....	66
3.2.1.	Implementación del actuador.....	66
3.2.2.	Implementación del circuito electrónico.....	72
3.2.3.	Implementación del software.....	76
3.2.3.1.	Diagrama de flujo.....	76
3.2.3.2.	Máquina de estados para lectura de botones.....	77
3.2.3.3.	Anti rebote por software para lectura de botones	77
3.2.3.4.	Sistema operativo FreeRTOS	78
3.2.3.5.	Librerías de ESP32 para Arduino	78
3.2.3.6.	Carpetas del proyecto	79
3.2.3.7.	Aplicación de escritorio.....	80

3.2.4. Carcasa	81
Capítulo IV: Pruebas y evaluaciones.....	85
Conclusiones	108
Recomendaciones	109
Referencias bibliográficas.....	110
ANEXOS	116
ANEXO 1: PLANOS	117
ANEXO 2: ENCUESTA	140
2.1. Encuesta de satisfacción de usuario	141
ANEXO 3: HOJAS DE DATOS	142
3.1. Anexo A: Vista de bloques funcionales ESP32	143
3.2. Anexo B: Alfabeto Braille y signos diacríticos del castellano	144
3.3. Anexo C: Hoja de datos de PLA+	145
3.4. Anexo D: Hoja de datos optoacoplador MOC3042	147
3.5. Anexo E: Hoja de datos triac BTA12	148
3.6. Anexo F: Hoja de datos MBR260HW	149
3.7. Anexo G: Hoja de datos IRLML6344TRPbF	150
3.8. Anexo H: Esquemático para desarrollo	151
3.9. Anexo I: Hoja de datos de reguladores de voltaje LM78XX	153
3.10. Anexo J: Hoja de datos de shift register 74HC595	158
ANEXO 4: ASPECTOS ADMINISTRATIVOS	159
4.1. Presupuesto del proyecto	160
4.2. Presupuesto un dispositivo de lectura	161

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Perú: población femenina y masculina con alguna discapacidad según el nivel educativo del año 2012.....	4
Tabla 2. Tabla de deseo y exigencias	31
Tabla 3. Tabla de ponderación de tecnologías de empuje de actuador	32
Tabla 4. Tabla de ponderación de tecnologías de enclavamiento del actuador	33
Tabla 5. Tabla de ponderación de tecnologías de manufactura del actuador.....	34
Tabla 6. Tabla de ponderación de tecnologías de la carcasa.....	35
Tabla 7. Tabla de ponderación de tecnologías para activación del actuador	36
Tabla 8. Tabla de ponderación de tecnologías para multiplicación de palabra de salida	37
Tabla 9. Tabla de ponderación de tecnologías para el microcontrolador.....	38
Tabla 10. Tabla de ponderación de tecnologías de almacenamiento	39
Tabla 11. Tabla de cargas utilizadas	50
Tabla 12. Caso de uso 1	62
Tabla 13. Caso de uso 2	63
Tabla 14. Puntos re escribibles errados	92
Tabla 15. Nivel de satisfacción de búsqueda de información antes probar el dispositivo de lectura Braille.....	105
Tabla 16. Nivel de satisfacción de búsqueda de información antes probar el dispositivo de lectura Braille.....	106
Tabla 17. Satisfacción en la difusión de información antes y después de probar el dispositivo de lectura Braille según los encuestados.....	106
Tabla 18. Resumen estadístico del nivel de satisfacción de usuarios encuestados	107
Tabla 19. Tabla de costos del proyecto	160
Tabla 20. Tabla de costos de un dispositivo de lectura.....	161

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Primera encuesta nacional especializada sobre discapacidad 2012.....	4
Figura 2. Blitab.....	8
Figura 3. Optacon.....	8
Figura 4. Diagrama de conexiones.....	9
Figura 5. Prototipo de módulo Braille.....	10
Figura 6. Panel de display táctil.....	11
Figura 7. Célula Braille.....	12
Figura 8. Actuador con aleación de metal de memoria y resorte.....	14
Figura 9. Fotografía de la primera versión del sistema Braille.....	17
Figura 10. Esquema de composición de un microcontrolador.....	19
Figura 11. Elementos del Optoacoplador.....	20
Figura 12. Tipos de Optoacopladores.....	20
Figura 13. Tipos de transistores.....	21
Figura 14. Símbolo MOSFET tipo N y P.....	21
Figura 15. Diagrama de bloques de una fuente conmutada de un televisor.....	27
Figura 16. Batería LiPo.....	27
Figura 17. Caja negra.....	31
Figura 18. Diagrama de bloques del dispositivo.....	40
Figura 19. Mecanismo de enclavamiento de bolígrafo de punta retráctil.....	41
Figura 20. Actuador con imán – electroimán.....	41
Figura 21. Ensamble mecanismo de desplazamiento vertical con enclavamiento.....	42
Figura 22. Ensamble mecanismo de desplazamiento vertical con enclavamiento vista con corte.....	42
Figura 23. Medidas de carrete para electroimán.....	43
Figura 24. Deflexiones de resortes de compresión y extensión.....	46
Figura 25. Circuito snubber para accionamiento electroimán.....	47
Figura 26. Circuito de accionamiento de actuador.....	49
Figura 27. Circuito de accionamiento de actuador simulado.....	49
Figura 28. Comportamiento del voltaje de la bobina del actuador.....	50
Figura 29. Esquemático de fuente de 3.3V.....	51
Figura 30. Circuito regulador de voltaje 5 V y 12 V.....	52

Figura 31. Información sobre la señal de EN en el microcontrolador	54
Figura 32. Circuito de señales de microcontrolador.....	55
Figura 33. Esquemático de módulo micro SD	56
Figura 34. Tabla para determinar la capacidad de corriente	57
Figura 35. Tabla para selección de ancho de pista dependiendo de la corriente.....	57
Figura 36. Diagrama de capas de abstracción	65
Figura 37. Estructura de proceso de observar y reaccionar.....	65
Figura 38. Arquitectura de componentes	66
Figura 39. Vista de las 3 piezas del mecanismo de enclavamiento del lapicero.....	67
Figura 40. Vista de 2 piezas ensambladas del mecanismo de enclavamiento de lapicero	67
Figura 41. 3 modelos escalados inspirados en el mecanismo de enclavamiento de lapicero separados	68
Figura 42. 3 modelos miniatura inspirados en el mecanismo de enclavamiento del lapicero separados	69
Figura 43. Modelo miniatura con modificaciones, activado y desactivado	70
Figura 44. Modelo final de actuador, activado y desactivado.....	70
Figura 45. Modelo final de actuador desarmado.....	71
Figura 46. PCB del proyecto	72
Figura 47. Interruptor conseguido en el mercado nacional	72
Figura 48. Extensión de interruptor.....	73
Figura 49. Vista de capa superior PCB con todos los componentes soldados	74
Figura 50. Vista de capa inferior PCB con todos los componentes soldados	75
Figura 51. Diagrama de flujo del lector electrónico.....	76
Figura 52. Máquina de estados del dispositivo	77
Figura 53. Máquina de estados anti rebote.....	78
Figura 54. Librería de Arduino como componente	79
Figura 55. Distribución de drivers.....	79
Figura 56. Distribución de drivers.....	80
Figura 57. Aplicación para subir archivos.....	81
Figura 58. Parámetros de impresión.....	82
Figura 59. Vista frontal del lector electrónico.....	83
Figura 60. Base para batería.....	83
Figura 61. Conector a batería	84

Figura 62. Creación de archivo de texto.....	85
Figura 63. Aplicación de escritorio antes de subir archivos.....	86
Figura 64. Aplicación de escritorio luego de subir archivos a la micro SD.....	86
Figura 65. Memoria micro SD con archivo subido.....	87
Figura 66. Dispositivo de lectura mostrando título.....	87
Figura 67. Consumo de corriente del dispositivo en reposo.....	88
Figura 68. Consumo de corriente del dispositivo accionando puntos re escribibles....	88
Figura 69. Señales de strobe, data y clock de los shift register.....	89
Figura 70. Aplicativo para subir el libro.....	90
Figura 71. Mensajes enviados por UART.....	91
Figura 72. Archivos para instalación de aplicación de escritorio.....	91
Figura 73. Icono de la aplicación de escritorio.....	91
Figura 74. Promedio de porcentajes de error.....	94
Figura 75. Porcentaje de error promedio por número de caracteres de palabras.....	95
Figura 76. Tiempo desde el que el usuario presenta discapacidad visual.....	96
Figura 77. Máximo grado de estudios alcanzado por los encuestados con discapacidad visual.....	97
Figura 78. Facilidad de acceso a la información para estudiar.....	98
Figura 79. Calificación para fuentes de investigación de información.....	99
Figura 80. Necesidad de ayuda para realizar sus actividades diarias.....	100
Figura 81. Satisfacción de lectura de puntos re escribibles.....	101
Figura 82. Satisfacción de uso de botones de navegación.....	102
Figura 83. Satisfacción al acceso de libros por el menú.....	102
Figura 84. Deseo que el dispositivo cuenta con una batería interna.....	103
Figura 85. Deseo de conexión del dispositivo con una biblioteca remota.....	104
Figura 86. Usuario encuestado en CERCIA.....	104
Figura 87. Usuario encuestado en centro de masajes.....	105
Figura 88. Pregunta N°4 antes de probar el dispositivo.....	105
Figura 89. Pregunta N°3 después de probar el dispositivo.....	106

INTRODUCCIÓN

El acceso a libros y demás material con información escrita para personas invidentes o con limitación visual se encuentra restringido, en la mayoría de casos, a la capacidad individual de cada familia para agenciárselos. Se encuentra este problema en diversos países de Latinoamérica y en otros lugares en vías de desarrollo. En esta investigación se desarrollará el diseño e implementación de un prototipo de dispositivo electrónico de lectura de sistema Braille para personas invidentes o con visión limitada que utilicen el idioma español en Perú.

Se concluye que es posible desarrollar un dispositivo que satisface las necesidades de los usuarios invidentes o con visión limitada que utilizan el idioma español en Perú y mejora el acceso a información escrita para las personas invidentes.



Capítulo I: Marco Metodológico

Diseño e implementación de un dispositivo electrónico de lectura de sistema Braille para personas invidentes que utilicen el idioma español.

1.1. Determinación del problema

La finalidad de esta investigación es mejorar la accesibilidad a los dispositivos electrónicos de lectura Braille en español en el Perú, para personas invidentes o con visión limitada.

1.2. Descripción del problema

1.2.1. El enunciado del problema

Las personas con discapacidad visual tienen que afrontar varias dificultades para poder realizar sus actividades diarias de manera normal. Las dificultades con las que estas personas tienen que lidiar van de la mano con la falta de consideración de esta discapacidad al momento de diseñar elementos con los que las personas interactúan en su día a día, como por ejemplo son el transporte público, las vías de tránsito, acceso a edificios, etc. En el paper de los autores (Anirudha , Swati, & Biswarup, 2015), se hace un repaso por diferentes desarrollos conceptuales de dispositivos para mejorar la inclusión de las personas con discapacidad visual. Se repasan varios dispositivos que utilizando displays que representen caracteres en el sistema Braille pueden ayudar a los usuarios invidentes a conocer mensajes y figuras, se ven dispositivos como: “The eye Stick”, “B-Touch Mobile Phone”, “Finger reader” y “Braille Polaroid Camera” En este estudio se puede entender cómo el desarrollo de estos display electrónicos del sistema Braille ayudarían a desarrollar otros artefactos que puedan interactuar mejor con las personas con discapacidad visual, mejorando así su integración en la vida de nuestra sociedad.

Las personas con esta discapacidad tienen la dificultad para relacionarse con escritos, ya que estos deben de ser impresos en hojas por medio de un procedimiento especial que permita plasmar en alto relieve los símbolos del sistema Braille. El hecho de que se tenga que utilizar tecnología poco convencional incrementa la cantidad de papel necesaria para completar un libro. Además, estos se desgastan con el tiempo y son de difícil acceso.

- Medible: Se puede contabilizar el número de libros a los que las personas invidentes tienen acceso en la actualidad.

- Solucionable: Se puede solucionar el problema a la accesibilidad de libros con la ayuda de tecnologías de acceso masivo de bajo costo, para que así sean implementadas en zonas de bajos recursos.
- Flexible: Siempre se puede mejorar la accesibilidad con la ayuda de diferentes tecnologías que se adapten a los diferentes grados de discapacidad de las personas.
- Plausible: Al tener una solución de bajo coste, se podría implementar esta solución en diferentes familias de manera particular.

1.2.2. Formulación del problema

¿Se puede crear un dispositivo electrónico de lectura que use el sistema Braille para mejorar la accesibilidad a información para las personas invidentes o visión limitada que utilicen el idioma español en Perú?

1.3. Área de conocimiento

El Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (CONSYTEC) determina las áreas del conocimiento utilizando el estándar internacional de Áreas de Ciencia y Tecnología de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) (CONCYTEC, s.f.). De acuerdo con el estándar el presente proyecto se encuentra dentro de:

- ÁREA: Ingeniería y Tecnología
- SUB ÁREA: Ingeniería eléctrica, Ingeniería electrónica
- LÍNEA: Ingeniería eléctrica, Ingeniería electrónica

1.4. Justificación del problema

1.4.1 Justificación de la investigación

1.4.1.1. Nivel Académico

Poder implementar un dispositivo electrónico de lectura en Braille es un avance tecnológico significativo si se llegaran a integrar las tecnologías actuales de los microcontroladores de 32 bits, circuitos integrados, comunicación inalámbrica y actuadores lineales de bajo consumo de energía. Existen antecedentes que serán mencionados más adelante en el documento, sin embargo, no hay una aplicación en la que se desarrolle un dispositivo integrando todas las tecnologías mencionadas anteriormente en Perú.

1.4.1.2. Nivel Económico

Los precios de algunos dispositivos de ayuda de lectura en Braille son bastante altos e incluso no tienen acceso directo con el proveedor, ya que se comercializan en el extranjero.

Teniendo este dispositivo se tendrá una solución de bajo costo económico gracias al uso de tecnologías más económicas y accesibles para el desarrollo de modelos en la actualidad.

1.4.1.3. Nivel Social

De las personas invidentes en el Perú el 50.90% presentan limitaciones para cumplir con sus actividades diarias, según la primera encuesta nacional especializada sobre discapacidad realizada en 2012 (INEI, 2014) convirtiendo a esta discapacidad como la segunda con más número de afectados en Perú.

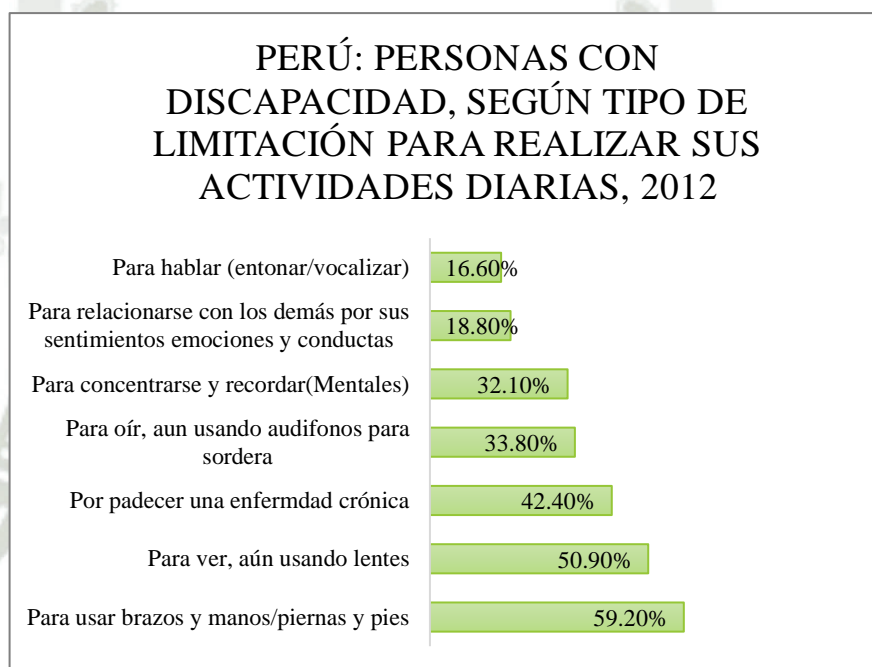


Figura 1. Primera encuesta nacional especializada sobre discapacidad 2012.

Fuente: (INEI, 2014)

La educación en las personas con discapacidad necesita, dependiendo del tipo de discapacidad, tener personas especializadas o métodos de inclusión enfocados a la integración de este sector de la población.

Tabla 1.

Perú: población femenina y masculina con alguna discapacidad según el nivel educativo del año 2012.

Fuente: Primera encuesta nacional especializada sobre discapacidad 2012 (INEI, 2014)

Nivel educativo	Total	Mujer	Hombre
Nivel educativo	100	100	100
Hasta primaria	64	69.5	58
Secundaria	22.4	19.1	26.1
Superior no universitaria	4.7	4.3	5.1

Superior universitaria	6.9	5.5	8.4
Educación básica especial	1.7	1.3	2.2
No especificado	0.2	0.2	0.3

Podemos apreciar en la Tabla 1 que las personas con discapacidad tienden a tener una limitación respecto a su educación, teniendo la mayoría solo educación primera y secundaria. Relegando la educación superior a un 10% de la totalidad de las personas con discapacidad.

Este problema tiene consecuencias en la ocupación que después tienen estas personas. Si se facilita la educación de estas personas con dispositivos de lectura inclusivos, se podrá mejorar el estándar de vida que lleva este sector de la población peruana.

1.4.2. Viabilidad de la investigación

Se desarrollará un dispositivo de bajo consumo, que sea portable y además se pueda utilizar en zonas donde no se requiera de una computadora u otros equipos especializados para que funcione de manera correcta.

La tecnología actual de microcontroladores y actuadores permite el desarrollo de un dispositivo electrónico de lectura Braille en español en el Perú, para personas invidentes o con visión limitada.

En la actualidad, existen microcontroladores capaces de soportar un programa para controlar el dispositivo descrito. Adicionalmente, presentan bajo consumo de energía y se encuentran disponibles en el mercado peruano.

La tecnología disponible en el mercado actual, permite desarrollar el actuador adecuado para la aplicación descrita. Podemos encontrar dispositivos activados mediante microfluidos, electroimanes y resortes con memoria de forma.

1.5. Objetivos de la investigación

1.5.1. Objetivos General

- Diseñar e implementar un dispositivo electrónico de lectura en sistema Braille en español, para personas invidentes o con visión limitada.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Determinar por medio de las guías de la norma VDI 2221 los requisitos de un dispositivo de lectura para luego satisfacerlas adecuadamente.

- Diseñar por medio de las guías de la norma VDI 2206 para procesos electrónicos y poner a prueba un actuador de punto re escribible que funcione con una diferencia de potencial eléctrico.
- Diseñar y realizar los cálculos de grosor de pistas y dispositivos electrónicos de control para una tarjeta electrónica de FR-4 que pueda comandar todos los puntos re escribibles de lectura del dispositivo, así como las señales auxiliares para su control como botones o switches.
- Desarrollar el software para el microcontrolador que se escogerá por medio de una tabla de ponderación de las diferentes opciones, mediante un programa modular con los lenguajes del estándar ANSI C11 y ANSI C++17 y acorde con las guías del “Barr Group’s Embedded C Coding Standard”, en la plataforma eclipse con las extensiones necesarias que especifique el fabricante del microcontrolador escogido.

1.6. Alcances y limitaciones

1.6.1. Alcances

- La investigación está pensada para que los caracteres empleados en Braille pertenezcan al idioma español.
- El diseño del lector electrónico tomará en cuenta las necesidades de las personas invidentes con consultas a través de encuestas.

1.6.2. Limitaciones

- La pantalla del dispositivo debe tener una tasa de refresco de la palabra mostrada menor a la suma del tiempo de conmutación del total de puntos re escribibles del lector.
- La aplicación de escritorio a desarrollarse sólo tendrá la función de subir los archivos de texto a la tarjeta de memoria micro SD del dispositivo.
- El actuador será fabricado con plástico que permita realizar un prototipado funcional y utilizar el método iterativo.

1.7. Hipótesis

Si se diseña y fabrica un dispositivo electrónico de lectura que use el sistema Braille con el idioma español se podrá mejorar la facilidad de acceso a información escrita de las personas invidentes o con visión limitada en Perú.

1.8. Variables de la investigación

1.8.1. Variables independientes

- Disposición y número de los puntos re escribibles.
- Eficiencia energética de los actuadores utilizados.

1.8.2. Variable dependiente

- Tamaño general del dispositivo.
- Consumo energético de los actuadores.
- Peso general del dispositivo.

1.9. Antecedentes

Enfocandonos en la realidad nacional del país, en la actualidad, en el Perú se la Biblioteca Nacional (BNP), cuenta con un servicio que busca facilitar el acceso de información a personas que presenten discapacidad visual (personas ciegas o con poca visión), expandiendo el uso de tecnologías de la información, aplicadas en servicios como lectura asistida, conversión de documentos de texto a MP3, computadoras con lectores y magnificadores de pantalla, acceso a Internet y Wifi. Tienen equipos especializados que permiten la lectura de textos impresos, como son los lectores y ampliadores de caracteres. Realizan impresión de textos en sistema Braille y tienen clubs de lectura y talleres. (Yataco, 2021)

Respecto a dispositivos que tengan un display de caracteres Braille, tenemos el ejemplo de Blitab. En el año 2017 se presentó la primera tableta electrónica con una pantalla física para poder leer en el sistema Braille. La tableta utiliza microfluidos para poder cambiar la dureza de sus “tixel”. Además, tenía una pantalla de tableta ordinaria para usar del mismo modo que cualquier otra. No obstante, no se puede encontrar manera oficial de adquirirla en su sitio web oficial, lo que indica que ya no se produce dicho de tipo de tableta. Este antecedente nos demuestra que en la actualidad se pueden desarrollar dispositivos similares de tamaño reducido. Además, nos ayuda a ver la aplicación de nanofluidos como elemento de fuerza del actuador, pudiendo estos considerarse para el desarrollo. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que muy probablemente por temas de distribución y costo este producto se discontinuó.

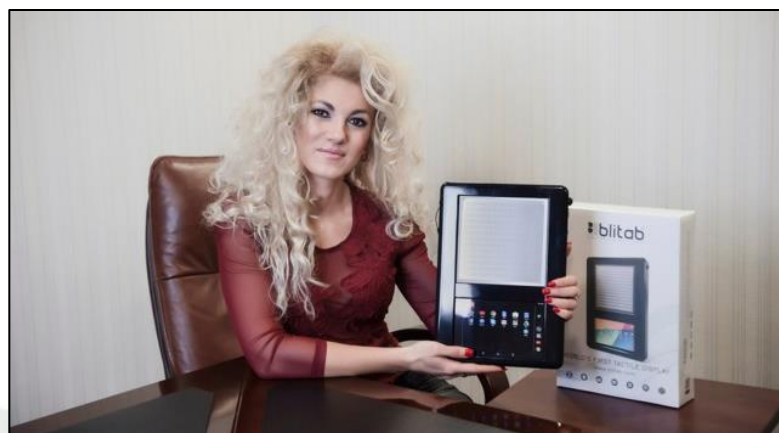


Figura 2. Blitab

Fuente: (Leaders League, 2017)

También tenemos como un dispositivo capaz de mostrar caracteres en sistema Braille al Optacon es un aparato de lectura en Braille que permite convertir a este sistema de escritura un texto impreso en papel común con ayuda de una cámara. Fue resultado de un proceso de investigación realizado por la universidad de Stanford en el año 1971. Tiene un peso de aproximadamente un kilogramo y medio. Tiene la desventaja que además de ser ruidoso y pesado, no es un aparato de lectura rápido. (García Rubio & Olivia Alcalá)

Este dispositivo o similares son utilizados en la actualidad en bibliotecas para personas invidentes, a pesar de ser útiles, tienen un peso considerable, además que disponen de tecnología con más de 50 años de antigüedad aproximadamente. Eso nos da entender que puede mejorarse su diseño usando tecnologías más actuales con el fin de mejorar su funcionamiento, eficiencia entre otras características.



Figura 3. Optacon

Fuente: (Blind, 2021)

Otro ejemplo es el VersaBraille, ordenador que fue creado para utilizar el sistema Braille. Tiene menú y lleva integrada una unidad de disco. Permite comunicación con otros dispositivos como impresoras y otras computadoras. Queda obsoleto al ser muy caro y no ser un dispositivo portable. (García Rubio & Olivia Alcalá) Dispositivo que puede servir de inspiración en su disposición de los puntos re escribibles. Se determinará si está disposición es aceptada por los usuarios finales mediante las encuestas en la etapa de diseño. Además, pone en consideración si es bueno que sea un dispositivo de un solo cuerpo o con extensiones.

La universidad de Colima en México desarrolló un modelo de pantalla electrónica de Braille con puntos re escribibles. En el paper (Ramos García, y otros, 2022), sus autores muestran la pantalla que desarrollaron, usando como actuador solenoides que consumen 5VDC con una corriente de 9A. La pantalla consiste en una matriz de 2x3 puntos re escribibles, los cuales estaban activos durante 4 segundos para evitar el calentamiento. Todo este modelo fue desarrollado en madera y controlado con una placa de control ESP32.

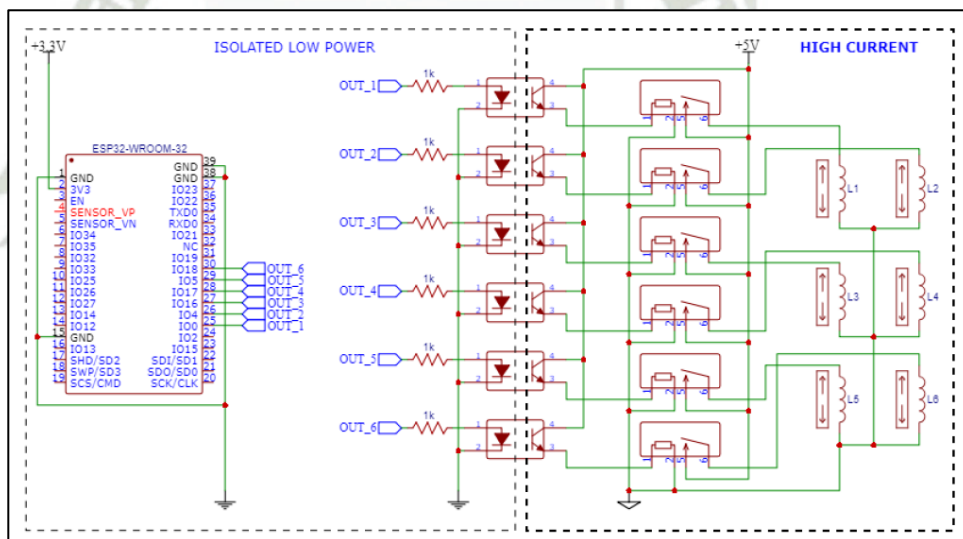


Figura 4. Diagrama de conexiones

Fuente: (Ramos García, y otros, 2022)

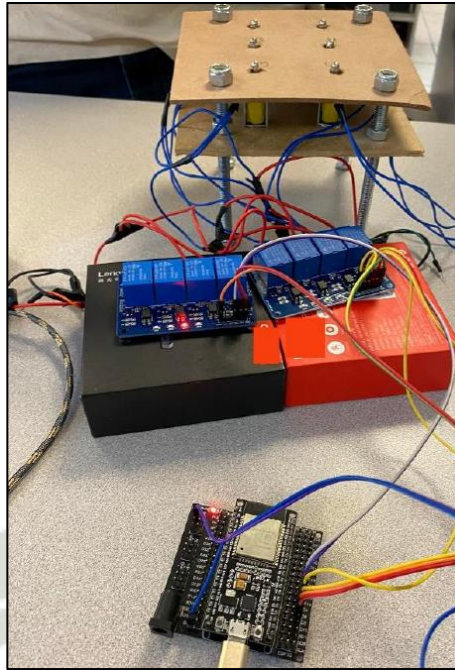


Figura 5. Prototipo de módulo Braille

Fuente: (Ramos García, y otros, 2022)

Este dispositivo será tomado como base para el proyecto tanto en su parte de control como de fuerza. Además, nos sirve para ver que lo mejor será que los actuadores sólo conmuten una vez y se mantengan en una posición hasta que sea necesario su reseteo, con ayuda de otra energía que no sea la eléctrica preferentemente, ya que se aprecia que el consumo de amperaje de los solenoides es elevado.

La facultad de ingeniería de la Kagawa University publicó un paper llamado “Research and development of vision based tactile display system using shape memory alloys” (Jiang, Uchida, & Sawada, 2014). Se describe un sistema de visión con una cámara web que capta forma de figuras y luego son mostradas en su matriz de 25 puntos, para que las personas invidentes o con visibilidad limitada puedan sentir las formas de los objetos detectados con la cámara. El actuador usado en una matriz de 25 pines es un resorte con memoria de forma, gracias al cual el pin puede salir $0.2\mu\text{m}$, lo suficiente para que la persona pueda sentir vibraciones. Con ayuda de la sensación fantasma, hacen vibrar los pines de manera que el usuario tiene la sensación de que los puntos se encuentran en movimiento, recreando la forma del objeto captado por la cámara. Este dispositivo está diseñado para ser usado con la palma de la mano y presenta pruebas que certifican su éxito.

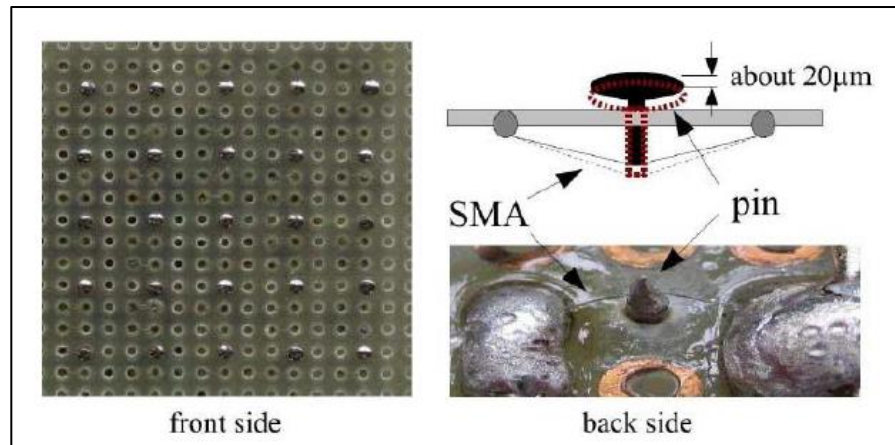


Figura 6. Panel de display táctil

Fuente: (Jiang, Uchida, & Sawada, 2014)

Este artículo nos presenta una tentativa solución a utilizar para el consumo de energía, la cual podría ser la utilización de frecuencias para poder obtener la sensación del punto re escribible, ahorrando energía.

El laboratorio de robótica de la Université Pierre et Marie Curie publicó el paper “Toward low-cost highly portable tactile displays with shape memory alloys” (Velázquez, Pissaloux, Hafez, & Szewczyk, 2007). Se describe el desarrollo del prototipo de una matriz de 8x8 que permite subir y bajar puntos para la lectura de caracteres en sistema Braille. El actuador fue desarrollado con un cable de metal de memoria que fue envuelto en espiral para así tener una deformación mayor. Se colocaron 2 de estos espirales enfrentados para así poder subir o bajar el pin de su actuador. Hicieron diversas pruebas al actuador cargado con señales cuadradas de 0.27 y 0.37 Hz, levantándose 1.4mm para ser sentidos por el usuario. Se construyó una matriz de 64 puntos, con una refrigeración de aire forzado. Luego hicieron pruebas para que personas dibujen las figuras mostradas en a la matriz, acertando la mayoría de veces.

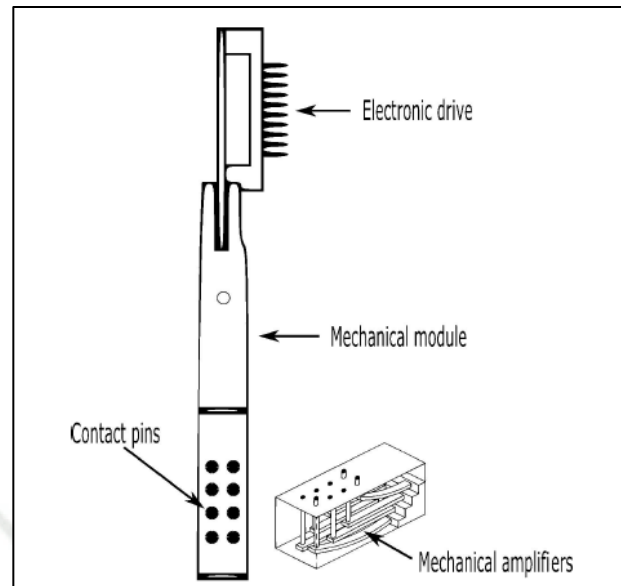


Figura 7. Célula Braille

Fuente: (Velázquez, Pissaloux, Hafez, & Szewczyk, 2007)

Este artículo también pone en práctica el uso de los metales de memoria. Se tiene que tomar en consideración por lo que exponen que se debe controlar la temperatura de los mismos. También nos servirá como referencia la medida de 1.4 mm como la salida necesaria del punto re escribible para que pueda ser leído por el usuario.

La universidad de Taiwan en el año 2001 publicó un paper en la *Computing & Control Engineering Journal* (Mu-Chun, y otros, 2001) en el cual se describe su experiencia con un dispositivo de lectura y escritura para poder interactuar con personas sordo-ciegas. El dispositivo cuenta con un panel para la persona con discapacidad y otro para la persona sin discapacidad. Ambos toman en consideración las distintas capacidades de los usuarios. El panel para la persona con discapacidad cuenta con una pantalla de puntos re escribibles además de funciones adicionales como un vibrador para poder avisar a la persona que se quieren comunicar con ella.

Este artículo describe cómo el dispositivo utiliza una comunicación inalámbrica entre sus partes, lo cual podría aplicarse en el proyecto. Se debe tomar en cuenta que este medio de comunicación no comprometa otras características deseadas en el dispositivo. Además, este confirma como necesaria la intervención mediante encuestas de los usuarios para realizar una lista de exigencias que consideren necesaria en el diseño del dispositivo.

En el paper titulado “*An overview on tactile display, haptic investigation towards benefical for blind person*” (Anirudha , Swati, & Biswarup, 2015) se realiza un repaso por

diferentes tecnologías utilizadas en el desarrollo de pantallas táctiles para personas invidentes. Se ven diferentes dispositivos y conceptos de manera cronológica. Se mencionan dispositivos que buscan generar imágenes para las personas invidentes mediante puntos re escribibles además que se describen ciertos estudios que verifican que se pueden representar formas en este tipo de pantallas.

Se destaca de este artículo la cantidad extensa de tecnologías que han sido probadas a lo largo de los años. Se demuestra que existen diversos tipos de tecnologías en la actualidad que fueran reemplazando a las previas y se apunta a la adaptación de dispositivos comunes como los celulares para personas con discapacidad visual, así estos podrán gozar de los mismos beneficios de los avances tecnológicos en su plenitud. Además, es muy de tener en cuenta que estas pantallas serían aplicables en otros dispositivos y no solo los relacionados con los libros, ya que se podrían acoplar a bastones para invidentes o en un futuro captar formas similares a una cámara.

En el paper “Design of shape memory alloy (SMA) coil springs for actuator applications” de (T. ISHII) utiliza una aleación de memoria para desarrollar un actuador de desplazamiento lineal con ayuda adicional de un resorte convencional. El actuador tiene un diámetro de 8 mm, se tiene que utilizar el resorte como apoyo para el retroceso del actuador, debido a que no basta con la contracción del metal memoria en su enfriamiento. Este actuador permite un desplazamiento en uno de sus extremos de hasta 5 mm con una fuerza de empuje de hasta 5 N que tiene que vencer los 2.5 N del resorte. Esta investigación es un claro ejemplo de la viabilidad de la creación de un actuador de desplazamiento con ayuda de aleaciones de metales de memoria con un resorte convencional. A pesar de tener un desplazamiento bastante corto comparándolo con largo total del actuador de 31.8 mm, este podría servir para una aplicación como la nuestra, debido a los puntos del sistema Braille suelen ser sensibles hasta con un alto relieve de 2 mm.

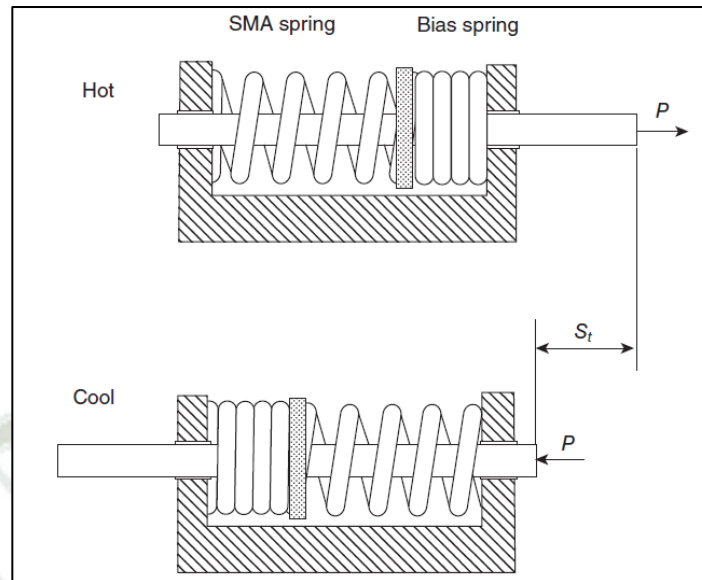


Figura 8. Actuador con aleación de metal de memoria y resorte

Fuente: (T. ISHII)

En el paper titulado “Ability-based design” (Wobbrock, Kane, & Vanderheiden, 2020) se aborda el concepto de diseño basado en la habilidad. En este paper se nos introduce a un nuevo concepto que indica que los diseños de ingeniería, deben tomar en cuenta las habilidades diversas de los usuarios objetivos del producto. Incluso se puede considerar que todos tenemos una discapacidad, ya que no podemos realizar todas las mismas acciones físicas con nuestro cuerpo, ya sea por condiciones del ambiente o propias del nuestro dominio de este. Es importante que se tomen en cuenta también los diversos tipos de discapacidades que pueden presentar los seres humanos, y mientras más casos variados se analicen, nuestro diseño tendrá un mejor desempeño y adaptabilidad para los distintos usuarios. Este paper nos hace ver que no se tomaron en cuenta las diversas condiciones de las distintas personas que pueden usar un dispositivo, como por ejemplo un celular con pantalla táctil que representa un problema de uso para las personas invidentes o con discapacidad visual.

En el paper “Portable communication aid for deaf-blind people” (Mu-Chun, y otros, 2001), se desarrollan los resultados de la creación de un dispositivo que permite la comunicación de una persona sin discapacidad con una persona sordo-ciega, o de dos personas ciegas o dos personas sordo-ciegas. El problema que enfrentan en esta investigación es bastante grande debido a que las personas sordo-ciegas, no tienen una interacción tan buena con el mundo exterior como lo tienen las personas ciegas que pueden sentir y escuchar, o las personas sordas que pueden ver. En esta investigación se desarrolló un dispositivo que permitía escribir y leer a las personas sordo-ciegas con otras personas. Este sistema permitía mejorar la

comunicación de las personas con diferentes tipos de discapacidades de manera independiente. Los dispositivos estaban controlados por un microcontrolador de la marca Intel 8952, lo cual permitía un costo reducido para que lo puedan adquirir las personas con familiares sordo-ciegos. De esta investigación podemos rescatar que es posible reducir los costos de los dispositivos dependiendo de la disponibilidad y el costo del microcontrolador escogido. Además, se puede considerar en la investigación a las personas sordo-ciegas, que necesitan un vibrador para poder interactuar con el dispositivo, ya que este les permite conocer cuando alguien se quiere comunicar con ellos y también tienen un teclado para poder ellos comunicar sus ideas a los demás, sin necesidad que la otra persona tenga que ser especialista en el código Braille ya que tiene la opción de contar con un display LCD y teclado para poder escribir y que la otra persona vea su mensaje en el código Braille

En el paper titulado “Improving Public Transit Usability for Blind and Deaf-Blind People by Connecting a Braille Display to a Smartphone” (Azenkot & Fortuna, 2010), se explora la posibilidad de conectar el dispositivo MoBraille a un teléfono inteligente para poder mejorar el uso del transporte público para las personas sordo-ciegas. El dispositivo usa también el GPS del teléfono inteligente para poder avisar al usuario por medio del display del MoBraille cuando el tren se está acercando, mejorando así la interacción de la persona sordo-ciega con el ambiente que le rodea, ya que en el momento que se realizó la investigación las personas sordo-ciegas dependían de cartas impresas que les indiquen por donde tienen que tomar el tren.

En “Seeking the ‘holy Braille’ display: might electromechanically active polymers be the solution?” de (Runyan & Carpi, 2011) los autores analizan las diversas tecnologías con las que se producen los display de código Braille. Se comenta que hay diversas tecnologías para la fabricación de puntos re escribibles para los display en Braille, sin embargo, hay que tomar en cuenta el precio que tienen estas tecnologías y cómo incrementan el costo del dispositivo. Los autores comentan que el equipo de manufactura necesario para fabricar un display de código Braille, utilizando la tecnología de piezoeléctricos tiene un costo aproximado de treinta y cinco dólares americanos por celda o aproximadamente cuatro dólares americanos con treinta y ocho centavos de dólar. Además, se especifica que existe una problemática al momento de colocar dos líneas de display juntas por su diseño mecánico. Es por todo esto que los autores determinan la necesidad de la utilización de una nueva tecnología. Establecen ciertos requerimientos que la nueva tecnología debe tener para poder ser viable y que pueda cumplir con las características que los usuarios invidentes o con visión limitada tendrían. De entre las características que los autores consideran para un display Braille, son las más importantes que este punto debería tener

un diámetro nominal de 1.5 mm, que debe levantarse una altura de 0.5 mm en su modo de accionamiento y que la distancia entre los centros de los puntos debe de ser de 2.5 mm. Proponen la utilización de polímeros activos electromecánicamente como el material que podría satisfacer las necesidades que plantearon anteriormente.



Capítulo II: Marco teórico

2.1. Sistema de escritura Braille

El sistema de escritura Braille, fue desarrollado por el francés Louis Braille, quien a la edad de 5 años quedó ciego, producto de un accidente que sufrió con una herramienta en el taller de su padre. El accidente le hizo perder la visión en ambos ojos, sin embargo, pudo ganar una beca para estudiar en el Real Instituto para la Juventud Ciega de Francia. Allí se presentó un militar que les mostró un código de lectura que se usaba en el ejército para leer en la oscuridad. Braille modificó ese código, mejorándolo para una mejor lectura. (BBC Ideas, 2019)

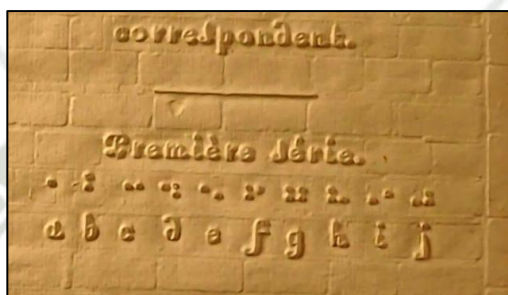


Figura 9. Fotografía de la primera versión del sistema Braille.

Fuente: (BBC Ideas, 2019)

El sistema Braille es actualmente utilizado en distintas partes del mundo por personas que no pueden ver. Al ser un sistema de escritura puede adaptarse a diversa cantidad de lenguas.

En la actualidad, una de las maneras más comunes de transmitir un mensaje para las personas con discapacidad visual es mediante audios. Existen diversas aplicaciones para computadora que permiten a una persona invidente interactuar con una computadora por medio de audio.

Para la lectura en sistema Braille, actualmente, se utiliza la impresión en un papel especial para el sistema Braille o en un acetato o aluminio, lo cual ofrecen distintas empresas especializadas.

2.2. Tecnologías para un actuador Braille

El actuador debe realizar la función de punto re escribible, para lo cual se disponen de las siguientes tecnologías:

2.2.1. Aleaciones con memoria de forma (SMA)

La aleación más conocida es el nitinol (Acrónimo de Ni-Ti-Naval Ordnance Laboratory), se descubrió en los laboratorios de la marina de Estados Unidos. Esta

aleación presenta propiedades de memoria de forma, consisten resumidamente en que cuando el material es deformado plásticamente, puede volver a su forma inicial luego de un ligero calentamiento. (López, 2013)

2.2.2. Electroimanes (solenoides)

Los electroimanes generan un campo magnético mediante el flujo de corriente eléctrica que pasa por ellos, el mismo cesa cuando ya no circula corriente por la bobina. También se les conoce como solenoides y sus espiras a menudo son enrolladas alrededor de un núcleo magnético consistente de un material ferromagnético que concentra el flujo y hace que el imán sea más potente. (Torre, s.f.). En la actualidad hay diversos aparatos en la industria que suelen utilizar solenoides para su activación como por ejemplo las electroválvulas. Para nuestra aplicación se deberá tomar en cuenta la fórmula de la fuerza magnetomotriz generada por el electroimán (Fullmecanica, 2014)

$$F_{mt} = N * I$$

F_{mt} : Fuerza magnetomotriz

N : Número de espiras

I : Corriente

2.2.3. Ferrofluidos

Los ferrofluidos generalmente contienen hierro en forma de óxido de hierro (Fe_3O_4), comúnmente conocida como magnetita. Un ferrofluido típicamente está formado por 5% de magnetita, 85% de líquido a base de aceite y 10% de la mezcla es un surfactante. Fueron desarrollados originalmente por científicos de la NASA en la década de 1960. Los ferrofluidos pueden ser atraídos cuando tiene un imán cerca. Sus aplicaciones en la actualidad son variadas, para el desarrollo de altavoces, chips de computadora y hasta para tratamientos médicos. (Rohrig, 2021)

2.2.4. Microfluidos y nanofluidos

Se trata de fluidos con escalas de longitudes menores a los milímetros. El campo de los microfluidos y nanofluidos es relativamente nuevo, por lo que hay muchos caminos aún que se están explorando. Estos sirven como interfaz entre los equipos nanométricos y los equipos de tamaño convencional que los humanos podemos utilizar. Las características de los microfluidos muchas veces suelen ser muy diferentes a la de los fluidos normales, como por ejemplo presentar una alta viscosidad. En la actualidad se estudian sistemas de bombeo

no mecánicos con partes inmóviles. También se empezó a usar el bombeo electrocinético. (Rivas, 2008)

Se puede lograr su diseño y validación con algunas pruebas con ayuda de los distintos métodos de manufactura digital como pueden ser el corte láser o la impresión 3D. Se seleccionará un material idóneo para la aplicación, buscando una durabilidad media que encuentre su equilibrio con el coste del mismo.

2.3. Elementos electrónicos de un dispositivo Braille

2.3.1. Microcontrolador

Un microcontrolador es un circuito integrado, que es programable. Esto quiere decir que puede seguir de forma autónoma una serie de instrucciones previamente definidas. Se compone de 3 elementos básicos (Artero, 2013):

- CPU (Unidad de control de proceso): Parte encargada de ejecutar cada instrucción. Generalmente reaccionan a unos datos de entrada, para generar datos de salida.
- Diferentes tipos de memorias: Alojamos instrucciones, así como diferentes tipos de datos que estas necesitan. Permiten que esta información esté siempre disponible para que el CPU trabaje correctamente. Las hay de los tipos persistentes y volátiles.
- E/S (Entradas y salidas): Encargadas de comunicar el microcontrolador con el exterior.

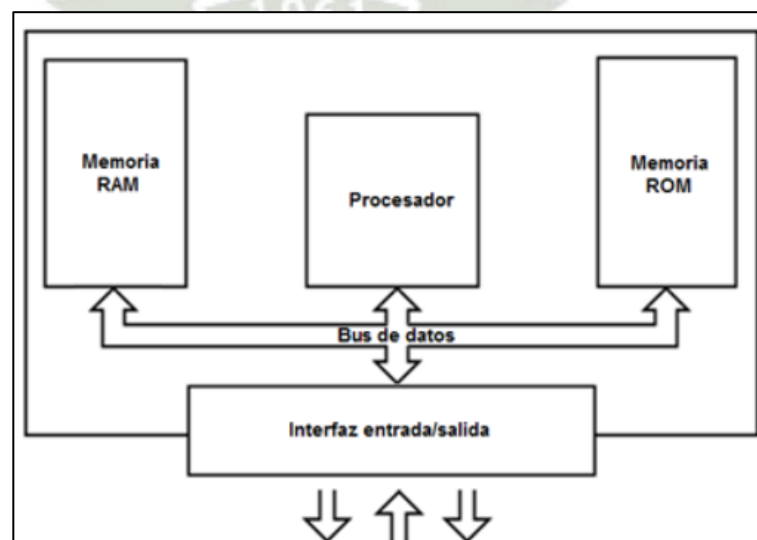


Figura 10. Esquema de composición de un microcontrolador.

Fuente: (Goilav & Loi, 2016)

2.3.2. Optoacoplador

Un optoacoplador une el uso de un semiconductor formado por un foto emisor y un foto receptor, y entre ambos existe un espacio por donde se transmite la luz, dentro de un encapsulado (Aguilar Peña & Montejo Ráez, 2015).

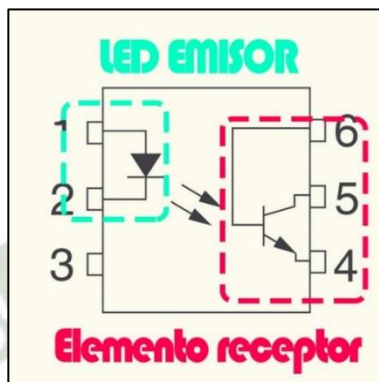


Figura 11. Elementos del Optoacoplador.

Fuente: (Electrotec, 2021)

Los optoacopladores, adicionalmente, permiten obtener un aislamiento eléctrico mediante el acoplamiento óptico.

Entre los principales tipos de optoacopladores se encuentran los siguientes:

- Fototransistor: se compone de un optoacoplador con una etapa de salida formada por un transistor BJT.
- Foto triac: compuesto de un optoacoplador con una etapa de salida formada por un triac.
- Opto tiristor: Diseñado para aplicaciones donde sea preciso un aislamiento entre una señal lógica y la red.

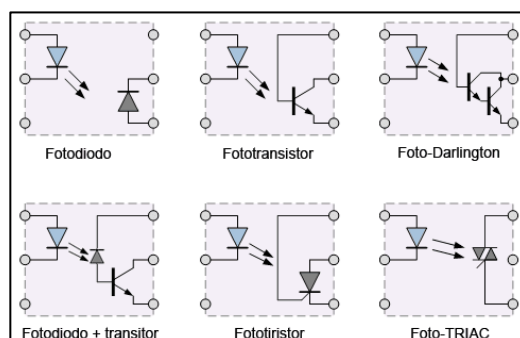


Figura 12. Tipos de Optoacopladores.

Fuente: (Electrotec, 2021)

2.3.3. Transistor

El transistor bipolar es un dispositivo de tres terminales (emisor, colector y base), que, atendiendo a su fabricación, puede ser de dos tipos: NPN y PNP (TECSUP, 2021)

Para distinguir un transistor de tipo NPN de un PNP es observando la flecha del terminal de emisor: en un NPN esta flecha apunta hacia fuera del transistor; en un PNP la flecha apunta hacia dentro. Además, en funcionamiento normal, dicha flecha indica el sentido de la corriente que circula por el emisor del transistor.

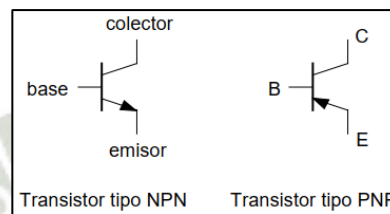


Figura 13. Tipos de transistores.

Fuente: (TECSUP, 2021)

2.3.4. Transistor MOSFET

El transistor MOSFET tiene la puerta aislada del canal. En los circuitos digitales se utiliza comúnmente para la conmutación de la parte de potencia. Existen transistores MOSFET de modo vaciamiento y modo enriquecimiento. La palabra enriquecimiento hace referencia al incremento de la conductividad que se produce entre el surtidor y drenador (García, 2012). Existen MOSFET del tipo P y N cuyo símbolo esquemático más utilizado es el siguiente:

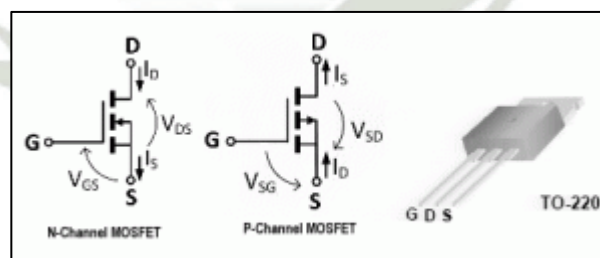


Figura 14. Símbolo MOSFET tipo N y P

Fuente: (García, 2012)

2.3.5. Fusible

Los circuito eléctricos y electrónicos usan fusibles como protectores de sobre corrientes. El fusible actúa gracias a que posee una parte fundible que se calienta y se corta por el paso de cierta cantidad de corriente por la misma. Los diversos circuitos deben ser diseñados para poder soportar cierta cantidad de daños. Este dispositivo está

encargado de proteger los circuitos de sobre corrientes ocasionadas por sobrecargas y cortocircuitos (EATON, 2018).

Existen en la actualidad diversos tipos de fusibles como son: diazed, cilíndricos, encapsulado de vidrio, chicote, tapón roscable, de cuchillas (fusibles NH), de pastilla y cartucho. Para seleccionar un fusible se debe tener en cuenta el voltaje de funcionamiento del circuito que tiene que proteger, además evaluar el riesgo de incendio del fusible, se tendrá que elegir uno de acción retardada para circuitos con cargas inductivas y uno de acción rápida para las cargas resistivas. También se debe de verificar la capacidad de interrupción que tiene el fusible, debido a que tendría que ser como mínimo igual o mayor que la corriente de consumo del circuito en funcionamiento normal. (SDindustrial, s.f.)

2.3.6. Resistencia

La resistencia contrarresta el flujo de electrones entre dos terminales, lo que se traduce en que por una mayor resistencia se tendrá un menor flujo de corriente. La resistencia puede ser calculada por la ley de Ohm como:

$$Resistencia = \frac{Voltaje}{Corriente}$$

Se tiene que la fórmula representa la resistencia como la relación del voltaje entre la corriente del circuito, por lo que se puede inferir que en los circuitos de alta corriente se tendrá una resistencia baja, mientras que en los que se presenta menor corriente se tendrá una resistencia alta. Las resistencias utilizadas son componentes electrónicos que restringen la electricidad en el circuito. Son usadas para ajustar tanto el voltaje como la corriente. Cuando las resistencias funcionan y reducen el flujo de corriente de un circuito el excedente de energía eléctrica es liberado en forma de calor.

Las principales variedades de resistencias son: resistencias fijas, resistencias variables y potenciómetros. Las resistencias fijas mayormente son hechas de película de carbono y de película metálica que tienen un revestimiento de carbono o metal. (HIOKI, s.f.)

Las resistencias comerciales tienen un código de colores que representan tanto los valores como las tolerancias de estas. Este estándar del registro de colores está definido en las normas internacionales IEC 60062. En esta norma se describen las resistencias con extremos axiales, así como el código numérico para las resistencias SMD. (SDindustrial, s.f.)

2.3.7. Capacitor

Cuando se conectan dos conductores próximos que reciben cargas del mismo valor, pero de signo contrario, se ocasiona el paso de cantidades relativamente grandes de carga de un conductor a otro con una diferencia de potencial pequeña. Este dispositivo se conoce como capacitor o condensador. Es definida como la capacidad de un condensador a la razón de carga de cualquiera de los conductores a la diferencia de potencial entre ellos, representada en la siguiente fórmula:

$$\text{Capacitancia} = \frac{q}{V_{ab}}$$

Los capacitores tienen diferentes aplicaciones en los circuitos eléctricos y electrónicos como: el aumento en el rendimiento en transporte en la energía AC, arranque de los motores monofásicos, nivelado de corriente alterna rectificada, uso en filtros, etc. (Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional de Rosario, s.f.)

2.3.8. Diodo

El diodo es un componente electrónico que permite la circulación de corriente a través de sus terminales sólo cuando esta se realiza en un determinado sentido, mientras que la bloquea en el contrario. En el diodo ideal se presenta una resistencia nula al paso de corriente en un sentido de paso y una resistencia infinita en el paso de corriente en sentido contrario. Dividiendo el monocristal de silicio puro en dos zonas, donde la frontera está definida en un plano, una zona queda dopada con impurezas del tipo P y la otra de tipo N. La zona P tiene un exceso de espacios vacíos, mientras que en la zona N se dispone de electrones en exceso, procedentes de átomos del grupo V. Al momento de distribuir las cargas se crea un campo eléctrico desde la zona N a la zona P. El campo magnético se opondrá al movimiento de portadores según la difusión y crece según pasan las cargas a la zona opuesta, hasta que la fuerza de difusión y la del campo eléctrico se equilibran y cesa el traslado de portadores. Cuando se polariza este diodo PN de manera directa, aplicando una tensión positiva en el ánodo, se genera un campo eléctrico que empuja los huecos a la unión, estrechando la zona de agotamiento y si la tensión que se aplica supera a la barrera, la zona de agotamiento desaparece ocasionando que electrones y huecos se dirijan a la unión y queden recombinados. Se produce conducción en el diodo. Cuando se polariza de manera inversa el diodo, ocurre lo contrario, se ensancha la zona de agotamiento. Esto ocasiona que no se produzca un paso de corriente entre los terminales del diodo. (SCHIAVON, 2012)

2.4. Carcasa

La carcasa del dispositivo de lectura debe cumplir con las siguientes características:

- Resistente al paso del tiempo y del tacto humano.
- Buen agarre por si es portátil.
- Ser ligera para que una persona pueda tomarla con sus manos.
- El material no debe ser tóxico ya que puede ser usado por niños.

Considerando dichas características se describen los principales materiales aplicables: acrílico, policarbonato, aluminio, PLA (Ácido Poliáctico), ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno).

2.4.1. Acrílico

La lámina acrílica es un material termoplástico. El plástico transparente que mejores propiedades tiene para poder usarse en la intemperie. (Acrilux)

Entre sus principales propiedades físicas se encuentran las siguientes:

- Transmisión de la luz: 92-95%
- Densidad: 1.2 g/cm³
- Mucha resistencia al desgaste producido por rayos ultravioletas.
- No se opaca en el transcurso del tiempo.
- Extensa vida útil.
- Facilidad para el termo-formado: sometiéndole a temperaturas entre 140°C a 180°C.
- Máxima temperatura para servicio o exposición continua: 65 a 90°C.
- Mínima temperatura recomendada para servicio o exposición continua: -40°C.
- Baja resistencia a los elementos abrasivos.
- Fácil limpieza: detergente doméstico y agua.
- Entre las principales propiedades químicas, especificadas por “Acrilux”, se encuentran las siguientes:
 - Resiste a los siguientes productos químicos: bases, ácidos, amoníaco no muy concentrado, hidrocarburos alifáticos (hexano, nafta y octanos).
 - No resiste hidrocarburos clorinados (cloruro de metileno, tetracloruro de carbono); solventes aromáticos (benceno, terpeno, tolueno, trementina);

alcoholes etílicos y metílicos; y, ácidos orgánicos (acético, fenoles, thinner, cetonas y éteres).

2.4.2. Policarbonato

Es un grupo de termoplásticos fácil de trabajar, moldear y termo-formar. Se trata de polímeros que presentan grupos funcionales unidos por grupos carbonato en una larga cadena molecular (elaplas, 2021).

Entre sus principales propiedades físicas se encuentran las siguientes (Polimertecnic, 2018):

- Muy alta resistencia a los impactos.
- Extremada transparencia, convirtiéndolo en un material muy polivalente.
- Rigidez y resistencia altas como elemento protector.
- Resiste muy bien a riesgos de deformación térmica.
- Efectivo ante la fluencia.
- Aislamiento eléctrico óptimo.
- Protección contra rayos ultravioleta.

2.4.3. Aluminio

Es un metal muy ligero, electropositivo y extremadamente reactivo. (Alu-Stock, 2020)

Entre las principales propiedades físicas que posee se encuentran las siguientes (Weerg, 2020):

- Resistencia a la corrosión
- Reflectividad alta debido a que es liso
- No requiere recubrimientos protectores
- Alta relación peso/resistencia
- Facilidad de fabricación
- Dúctil y maleable
- Resistencia a bajas temperaturas
- Impermeable e inodoro
- No es magnético, por lo que es ideal para proteger antenas y discos de ordenador.
- Buena absorción acústica y de impactos

2.4.4. PLA Ácido Poliáctico

Material altamente usado para las impresiones 3D. Es un material cuyo propósito es el desarrollo de prototipos y versiones de prueba debido a que es fácil de imprimir y tiene unos buenos resultados en poco tiempo. Está fabricado en base de recursos renovables como almidón de maíz, tapioca o caña de azúcar. (C., 2019). Es un material que no es tóxico.

2.4.5. ABS Acrilonitrilo Butadieno Estireno

Este material es un poco más difícil de imprimir que el PLA, sin embargo, también es altamente utilizado en la impresión 3D debido a que tiene mejores propiedades mecánicas que el PLA. Este tiene que ser impreso a una mayor temperatura, sin embargo puede ser maquinado en un pos procesado y es más resistente al calor.

2.5. Alimentación de dispositivos electrónicos

2.5.1. Fuente DC

Las fuentes DC están presentes en casi todos los dispositivos electrónicos. Se pueden distinguir a grandes rasgos 2 tipos de fuentes DC:

- Fuentes de alimentación DC no reguladas: Este tipo de fuentes generan corriente directa a partir de una etapa de rectificación y filtrado de la corriente alterna. Por su sencillez, éstas no mantienen el voltaje de alimentación estable, el cual varía este dependiendo de la carga.
- Fuentes de alimentación DC reguladas o estabilizadas: Estas fuentes mantiene el voltaje de alimentación que proporcionan en un valor fijo, sin importar la carga. La fuente tiene un regulador electrónico que interactúa con la carga. Una fuente conmutada switching opera con frecuencias muy altas, pudiendo así entregar grandes potencias en fuentes de pequeño tamaño y peso. (Jeptelco, 2020)

La fuente que se requeriría en el proyecto sería una fuente DC del tipo Switching, gracias a sus prestaciones podremos disponer de una alta corriente en un espacio reducido, apartado crucial en este tipo de máquinas, ya que deben incluir electrónica de control dentro de la cual se encuentran microcontroladores y sensores, así como un conjunto de motores que accionarán mecanismos para la preparación y dispensación del producto.

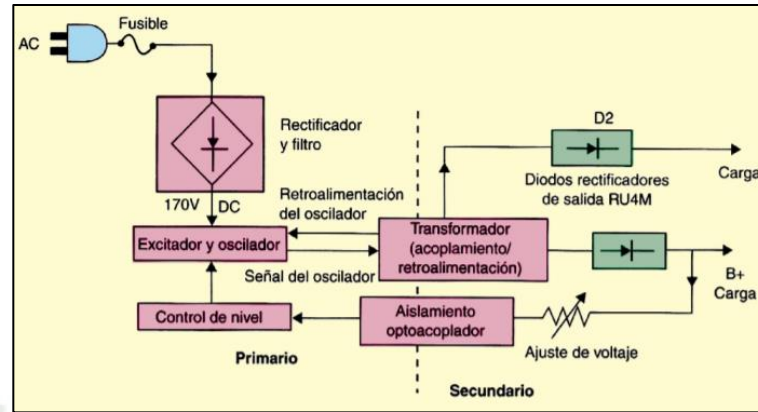


Figura 15. Diagrama de bloques de una fuente conmutada de un televisor.

Fuente: (Orozco Cuautle, 1999)

2.5.2. Batería de polímero de Litio

Son una variación de las baterías de litio. Permiten una mayor densidad de energía y tiene una tasa de descarga superior. Tiene un tamaño reducido comparándolo con otros tipos de baterías. Tienen un voltaje nominal de 3.7V, llegando a un máximo de 4.2V y un mínimo de 3.0V. (Solectro, 2021)

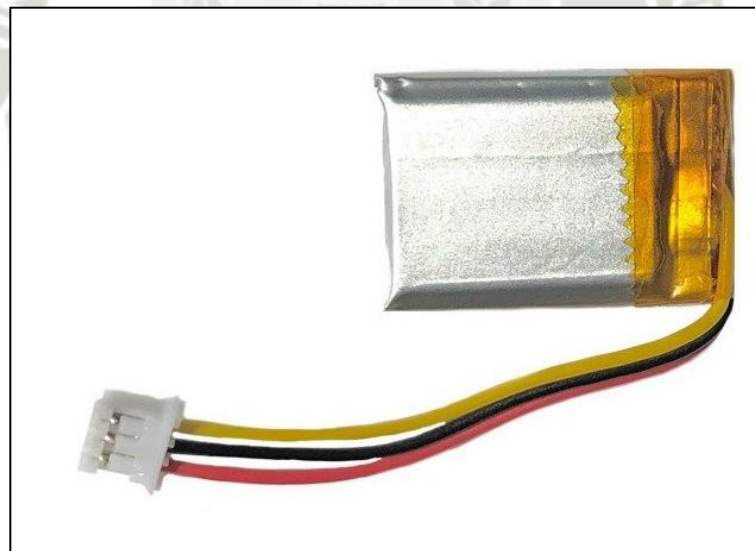


Figura 16. Batería LiPo.

Fuente: (Solectro, 2021)

2.6. Circuito impreso

Las siglas PCB se refieren a una “Printed circuit board” traducida como una placa de circuito impreso. Esta placa es un circuito cuyos componentes y conductores están contenidos dentro de una estructura mecánica. Dentro de las funciones conductoras del PCB influyen las trazas de cobre, los terminales, los disipadores de calor o los conductores planos.

Esta estructura mecánica está realizada de un material laminado aislante colocado entre las capas de material conductor. Esta placa es chapada y cubierta con una máscara de soldadura no conductora y una impresión que indica la ubicación de los componentes electrónicos que conforman el circuito. Una vez terminada la fabricación de la tarjeta PCB, se colocan los componentes en esta por medio de robots o también se realiza el proceso de manera manual. Posteriormente, se sueldan en la placa con ayuda de técnicas tales como el reflujo o soldadura por ola. (Peterson, 2020)

Al momento de diseñar una PCB se debe pasar un diseño de circuito esquemático al circuito impreso. El diseñador tiene la responsabilidad de lograr efectividad en la generación de este nuevo producto. Se debe generar un producto documentado y competitivo para el mercado. (Cruz, 2022)

Para realizar el diseño de un circuito impreso se debe tomar en consideración los componentes que se usarán y el medio en el que trabajarán. Se utilizan softwares CAD para el diseño de las PCB ya que con estos posteriormente se generan los documentos necesarios para su manufactura y producción a alta escala. Dentro de los softwares más utilizados podemos encontrar los siguientes: Altium designer, Autodesk Eagle o Kicad.

2.7. Sistema operativo

Un sistema informático global está conformado en manera general de los siguientes componentes: hardware, programas de sistemas y aplicación y los usuarios. Un programa de aplicación determina la forma en que son empleados los recursos para resolver problemas informáticos de los sistemas. El sistema operativo tiene la función de controlar y coordinar el uso del hardware entre los diversos programas de aplicación por parte de los distintos usuarios. Está encargado de proporcionar los medios para llevar un uso adecuado de los recursos durante el funcionamiento del sistema. Desde el punto de vista del sistema el sistema operativo puede ser visto como el asignador o el administrador de recursos. Los recursos a los que se refiere tienen disponibilidad un sistema son: tiempo de CPU, espacios de memoria, espacios de almacenamiento de archivos, dispositivos de entradas y salidas, etc. La función del sistema operativo es la de decidir cómo asignar los recursos a los diversos programas y usuarios específicos, para asegurar que una computadora pueda operar de forma eficiente y equitativa, y responda adecuadamente a las numerosas solicitudes de recursos y posibles conflictos. El sistema operativo es el programa fundamental de todos los programas de sistemas, proporciona una base sobre la cual se escribirán los programas de aplicación,

además actúa como interfaz entre las aplicaciones de usuario y el hardware de la computadora. (Universidad Nacional de San Luis, 2024)

2.8. Lenguaje C

El lenguaje C de programación fue creado por Brian Kernighan y Dennis Ritchie a mediados de los 70'. La primera implementación se usó sobre un computador DEC PDP-11 con un sistema operativo UNIX. Este lenguaje es el resultado de un proceso de desarrollo empezado con el lenguaje BCPL, que influyó en el lenguaje de programación llamado B, el cuál es el antecesor directo del lenguaje C. Este lenguaje permite una gran flexibilidad de programación y tiene una muy baja comprobación de incorrecciones, esto significa que el lenguaje dejará a responsabilidad del programador acciones que otros lenguajes de programación realizan por sí mismos. El lenguaje C no comprueba que el índice de referencia de un vector no sobrepase el tamaño del mismo vector, no evita que se escriba en ciertas zonas de memoria que no pertenecen al área de datos del programa, entre otras características. El lenguaje C es estructurado así como lo son los lenguajes Pascal, Ada o Modula-2, sin embargo no es del tipo estructurado por bloques, por lo que no se pueden declarar subrutinas como sí puede hacerse en Pascal. El lenguaje C no es rígido en la comprobación de tipos de datos, esto permite que se puedan convertir diferentes tipos de datos entre sí, así como la asignación de tipos de datos diferentes. Todos los programas en lenguaje C, tienen un conjunto de funciones y una principal llamada "main", siendo esta la primera que se ejecuta al comenzar el programa, es desde la función "main" donde se llaman las demás funciones que compongan el programa. Desde la creación de este lenguaje de programación surgieron diversas versiones que incluyen diversas características, palabras reservadas, etc. Se debió unificar el lenguaje C como consecuencia de esta variedad de versiones, es así como surgió un estándar de lenguaje C llamado ANSI-C. El beneficio que se desarrolle un programa siguiendo este estándar es que será fácilmente portable de entre los diversos modelos de ordenadores, así como de un modelo de compilador a otro. El estándar ANSI-C define un número reducido de palabras reservadas el cuál es de un total de 32. (Esteban, s.f.)

2.9. Lenguaje C#

El lenguaje de programación C# fue creado por Microsoft. Es un lenguaje orientado a objetos, que fue diseñado para compilar diversas aplicaciones que son ejecutadas en el framework .NET. Es un lenguaje simple y eficaz con seguridad de tipos. Gracias a las numerosas invocaciones que se pueden hacer en C# se pueden desarrollar aplicaciones de

manera rápida y mantener la expresividad y elegancia del lenguaje C. La sintaxis de este lenguaje de programación es derivada de los lenguajes C y C++ y utiliza el modelo de objetos de .NET, que es parecido al de Java, pero con mejoras propias de otros lenguajes. (Delgado, 2023)



Capítulo III: Desarrollo del proyecto

3.1. Diseño

Para el diseño del dispositivo se analiza el entorno. Identificando por medio de la caja negra cuáles serán las entradas del dispositivo y cuáles sus salidas esperadas.

3.1.1. Caja negra



Figura 17. Caja negra

Fuente: Elaboración propia

3.1.2. Tabla de deseos y exigencias

Tabla 2.

Tabla de deseo y exigencias

Fuente: Elaboración propia

Deseo o Exigencia	Descripción
E	El dispositivo tiene como mínimo 5 caracteres en código Braille.
E	El dispositivo almacena los libros que mostrará en una memoria micro SD.
E	El dispositivo se conecta a una computadora para almacenar el documento de texto en la memoria micro SD.
E	Los materiales de producción son de acceso común en Perú.
D	El dispositivo tiene una batería para garantizar su autonomía por al menos 1 hora.
E	El dispositivo tiene botones físicos para la navegación dentro del documento de texto.

- D El dispositivo no excede las dimensiones exteriores generales de 500x500x300mm (LxAxH).
- D El dispositivo es de fácil ensamblaje.
- D La disposición de botones es cómoda para el manejo del usuario final.
- E El dispositivo en conjunto debe presentar un costo reducido para Perú.

La Tabla 2 presenta un listado de diversas exigencias y deseos determinadas para este proyecto. Se puede destacar que en la tabla se tienen exigencias enfocadas en el correcto funcionamiento del dispositivo con especificaciones mínimas para un uso adecuado como la primera exigencia que establece que se deben mostrar como mínimo 5 caracteres en código Braille. Por otro lado, en la Tabla 3 los deseos están relacionados con la ergonomía del dispositivo, como por ejemplo el deseo número dos que restringe las medidas del dispositivo a un volumen manejable, que no incomode en su uso y transporte al usuario final. El cumplimiento de las exigencias de la Tabla 3 es mandatorio, mientras que los deseos indican algunos criterios a tomar en cuenta para el diseño final que son opcionales cumplir.

3.1.3. Selección de tecnologías

3.1.3.1. Tecnología de empuje del actuador

Considerando los valores de la Tabla 3 se escogió el electroimán. Es una tecnología de fácil uso y la que mejor costo presenta para esta aplicación. Se destaca que el electroimán tiene una buena eficiencia energética, así como un bajo costo y fácil accesibilidad en nuestro país.

Tabla 3.

Tabla de ponderación de tecnologías de empuje de actuador

Fuente: Elaboración propia

Descripción	Tecnología
-------------	------------

	Aleación con memoria de forma	Nano fluidos	Electroimán
Bajo consumo energético	1	1	3
Fácil almacenamiento de fuente de energía necesaria para su funcionamiento	4	1	4
Tamaño reducido	4	4	3
Buena eficiencia energética	0	4	3
Fácil manejo de la tecnología	1	0	4
Disponibilidad de la tecnología en el país	2	0	4
Bajo costo de implementación de la tecnología	2	0	4
Total	14	10	25

Nota: La calificación tiene los siguientes valores Muy malo: 0, Malo: 1, Regular: 2, Bueno: 3, Muy Bueno: 4

3.1.3.2. Tecnología de enclavamiento del actuador

Considerando los valores obtenidos en la Tabla 4 se optó por el método de cilindro retráctil con resorte y dientes de agarre. A pesar de tener un tamaño relativamente grande, como consecuencia a los métodos de fabricación que se disponen, se adapta de buena manera a la aplicación en otros aspectos más importantes como el bajo consumo energético.

Tabla 4.

Tabla de ponderación de tecnologías de enclavamiento del actuador

Fuente: Elaboración propia

Descripción	Tecnología		
	Cilindro retráctil con resorte y dientes	Enclavamiento por ganchos	Enclavamiento por mantenimiento de señal de empuje

Bajo consumo energético	4	4	0
Tamaño reducido	2	3	4
Baja complejidad en manufactura	4	1	2
Fácil manejo de la tecnología	4	1	2
Disponibilidad de la tecnología en el país	4	4	2
Bajo costo de implementación de la tecnología	4	2	2
Total	22	15	12

Nota: La calificación tiene los siguientes valores Muy malo: 0, Malo: 1, Regular: 2, Bueno: 3, Muy Bueno: 4

3.1.3.3. Tecnología de manufactura del actuador

La tecnología más conveniente para la aplicación es impresión FDM y esto se basa en las calificaciones obtenidas en la Tabla 5. Sin embargo, también se puede considerar como viable la impresión de resina fotosensible, porque también tiene buenas calificaciones.

Tabla 5.

Tabla de ponderación de tecnologías de manufactura del actuador

Fuente: Elaboración propia

Descripción	Tecnología		
	Impresión FDM	Impresión de resina fotosensible	Manufactura de metal por CNC
Bajo consumo energético	4	4	1
Buenos acabados superficiales	3	4	3
Alta resolución de pieza	3	4	3
Fácil manejo de la tecnología	4	2	2

Disponibilidad de la tecnología en el país	4	3	2
Bajo costo de implementación de la tecnología	4	3	1
Total	22	20	12

Nota: La calificación tiene los siguientes valores Muy malo: 0, Malo: 1, Regular: 2, Bueno: 3, Muy Bueno: 4

3.1.3.4. Tecnología de manufactura de la carcasa

La tecnología que se usará es la impresión FDM. En la Tabla 6, se observa que tiene mejores calificaciones las otras 2 tecnologías y para la impresión de piezas de gran volumen es la más óptima.

Tabla 6.
Tabla de ponderación de tecnologías de la carcasa

Fuente: Elaboración propia

Descripción	Tecnología		
	Impresión FDM	Impresión de resina fotosensible	Manufactura de metal por CNC
Bajo consumo energético	4	4	1
Volumen de trabajo compatible con el requerimiento	4	2	4
Buenos acabados superficiales	3	4	3
Fácil manejo de la tecnología	4	2	2
Disponibilidad de la tecnología en el país	4	3	2
Bajo costo de implementación de la tecnología	4	3	1

Total	23	18	13
-------	----	----	----

Nota: La calificación tiene los siguientes valores Muy malo: 0, Malo: 1, Regular: 2, Bueno: 3, Muy Bueno: 4

3.1.3.5. Tecnología para activación del actuador

El transistor mosfet es la tecnología que se utilizará para controlar la activación del actuador. En la Tabla 7, tiene mejores calificaciones que las otras 2 tecnologías comparadas.

Tabla 7.

Tabla de ponderación de tecnologías para activación del actuador

Fuente: Elaboración propia

Descripción	Tecnología		
	Transistor Mosfet	Optoacoplador	Triac
Baja caída de potencial	4	4	3
Alta capacidad de corriente para la aplicación	4	2	3
Buen aislamiento galvánico del circuito	4	4	2
Alta velocidad de conmutación	4	3	2
Tamaño reducido	4	2	2
Baja cantidad de otros componentes para su correcto funcionamiento	4	4	3
Buen comportamiento térmico en relación a la aplicación	4	2	4
Disponibilidad de la tecnología en paquete SMT en el país	2	2	2
Bajo costo de implementación de la tecnología	4	3	3

Total	34	26	24
-------	----	----	----

Nota: La calificación tiene los siguientes valores Muy malo: 0, Malo: 1, Regular: 2, Bueno: 3, Muy Bueno: 4

3.1.3.6. Tecnología para multiplicación de palabra de salida

En la Tabla 8 se califican las 3 tecnologías tentativas. La mejor es el shift register de 8 bits, ya que es la que más se utiliza en el desarrollo de hardware.

Tabla 8.

Tabla de ponderación de tecnologías para multiplicación de palabra de salida

Fuente: Elaboración propia

Descripción	Tecnología		
	Shift Register 8 bits	Shift Register 16 bits	Demultiplexor
Alto número de salidas	2	3	2
Posibilidad de conexión en cascada	4	4	0
Baja cantidad de señales para su control	4	4	4
Alta velocidad de conmutación	3	3	3
Tamaño reducido	4	3	4
Disponibilidad de la tecnología en paquete SMT en el país	2	2	2
Bajo costo de implementación de la tecnología	4	3	3
Total	23	22	18

Nota: La calificación tiene los siguientes valores Muy malo: 0, Malo: 1, Regular: 2, Bueno: 3, Muy Bueno: 4

3.1.4. Microcontrolador

El microcontrolador que se utilizará es el ESP32, porque como podemos observar en la Tabla 9, es el que tiene mejores calificaciones para esta aplicación.

Además, se puede añadir que este microcontrolador ya tiene embebido módulos de Wi-Fi y Bluetooth, a pesar que estas conexiones inalámbricas no están consideradas dentro de los límites de la aplicación, pueden ser un añadido apreciable para futuras mejoras.

Tabla 9.

Tabla de ponderación de tecnologías para el microcontrolador

Fuente: Elaboración propia

Descripción	Tecnología		
	ESP32	ARM-CORTEX-M0	AVR
Alto número de salidas	3	4	2
Velocidad máxima de reloj	4	4	2
Registros con alto número de bits	4	4	2
Disponibilidad de periférico SPI	4	4	4
Baja cantidad de componentes necesarios para su funcionamiento	4	4	4
Alta cantidad módulos de comunicación embebidos	4	2	2
Bajo costo de implementación de la tecnología	4	3	4
Total	27	25	20

Nota: La calificación tiene los siguientes valores Muy malo: 0, Malo: 1, Regular: 2, Bueno: 3, Muy Bueno: 4

3.1.5. Tecnología de almacenamiento

Se optará por la tecnología de memoria micro SD. Ambas tecnologías tienen puntajes similares en el Tabla 10, sin embargo, la micro SD tiene mayores capacidades y es más fácil de reemplazar por una memoria de mayor o menor capacidad, en caso se requiera.

Tabla 10.

Tabla de ponderación de tecnologías de almacenamiento

Fuente: Elaboración propia

Descripción	Tecnología	
	EEPROM	Micro SD
Alta capacidad de almacenamiento	1	4
Tamaño reducido	4	3
Uso de protocolo de comunicación común	4	4
Baja cantidad de componentes necesarios para su funcionamiento	4	3
Bajo costo de implementación de la tecnología	4	4
Total	17	18

Nota: La calificación tiene los siguientes valores Muy malo: 0, Malo: 1, Regular: 2, Bueno: 3, Muy Bueno: 4

3.1.6. Ingeniería del diseño

En la Figura 18 se presenta el diagrama de bloques del dispositivo. Se controla por el usuario final por medio de 3 botones. Tiene el control de actuadores por medio de shift registers que multiplican la palabra de salida de las GPIO del microcontrolador ESP32. Se almacena la información en una memoria micro SD por el protocolo de comunicación SPI. Además de coloca una posible conexión por medio de comunicación inalámbrica como son Bluetooth o Wi-Fi, sin embargo, esto escapa de los alcances del proyecto.

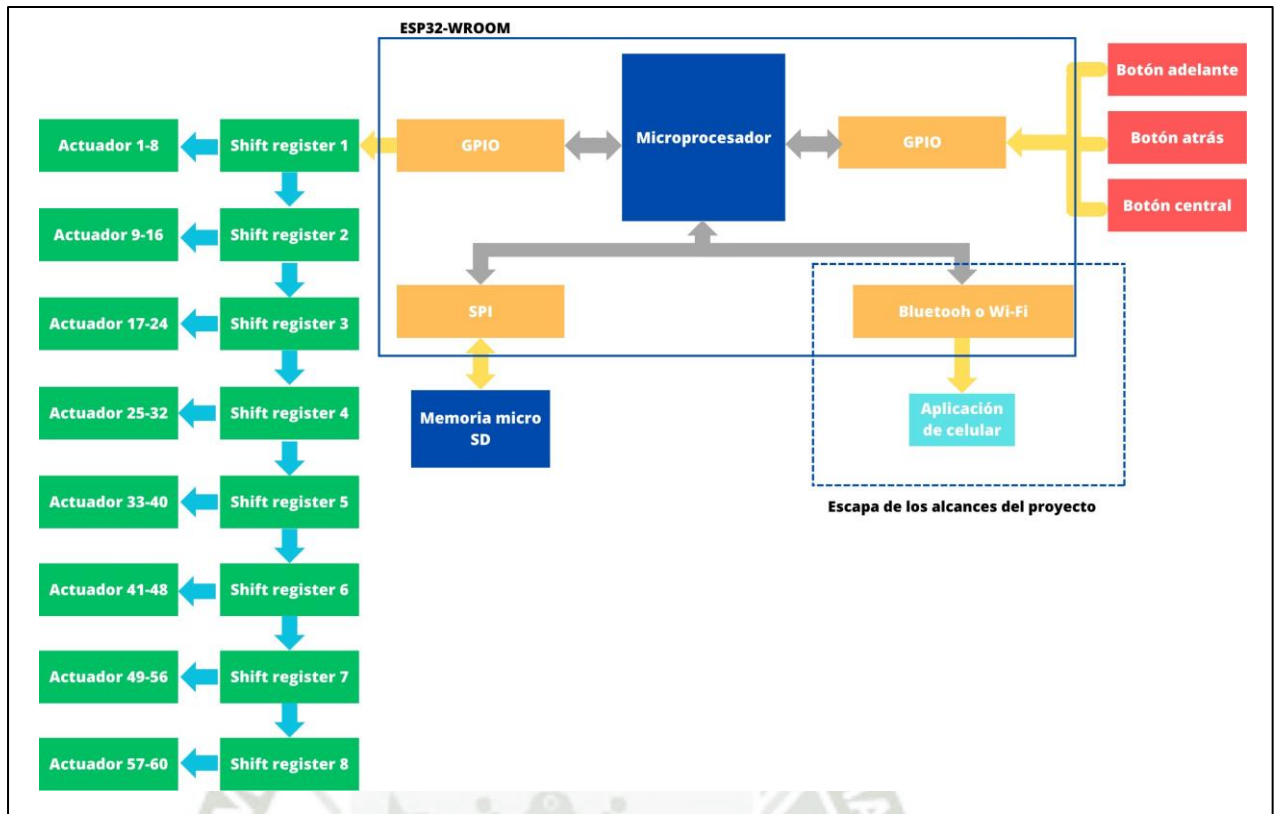


Figura 18. Diagrama de bloques del dispositivo

Fuente: Elaboración propia

3.1.7. Actuador

3.1.7.1. Mecanismo de desplazamiento

Para diseñar el mecanismo de desplazamiento vertical, se debe tener en cuenta que este debe permitir el enclavamiento del actuador como se definió en la Tabla 5 por medio de un cilindro retráctil con resorte y dientes. Este modelo está inspirado en el mecanismo de enclavamiento que se tiene en los lapiceros de punta retráctil de uso cotidiano. En la Figura 19, se tiene una imagen del diseño en 3D de un mecanismo de desplazamiento vertical que tiene un bolígrafo común. Podemos apreciar que depende de 3 cuerpos y un resorte para su funcionamiento. Así como este modelo se pueden encontrar otras variantes en los distintos lapiceros.

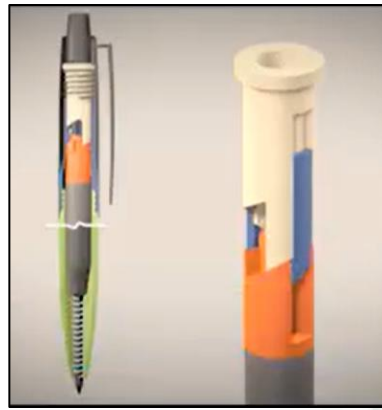


Figura 19. Mecanismo de enclavamiento de bolígrafo de punta retráctil

Fuente: (Casa la lapicera, 2017)

En la Figura 20 tenemos un primer boceto conceptual del mecanismo de desplazamiento. Utilizando un imán permanente junto a un electroimán para su funcionamiento como se determinó en la Tabla 3.

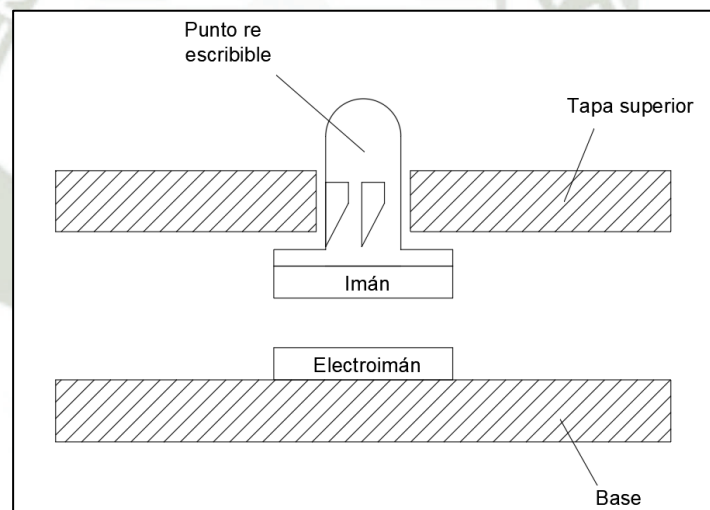


Figura 20. Actuador con imán – electroimán

Fuente: Elaboración propia

El método de diseño de este mecanismo, es el iterativo. Tomando como base los distintos modelos de mecanismo similares a los de la Figura 21, se procedió a ajustar el tamaño y también se redujo el número de piezas involucradas en su funcionamiento para evitar la fricción ocasionada por la laminación del método de fabricación establecido en la Tabla 6, impresión FDM.

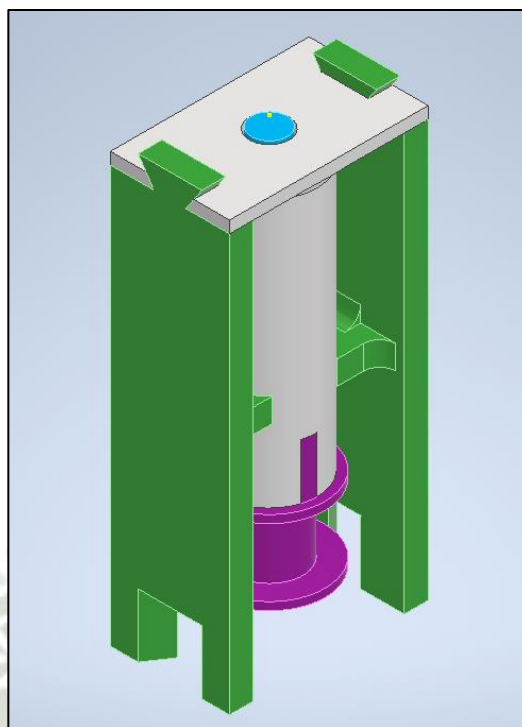


Figura 21. Ensamble mecanismo de desplazamiento vertical con enclavamiento

Fuente: Elaboración propia

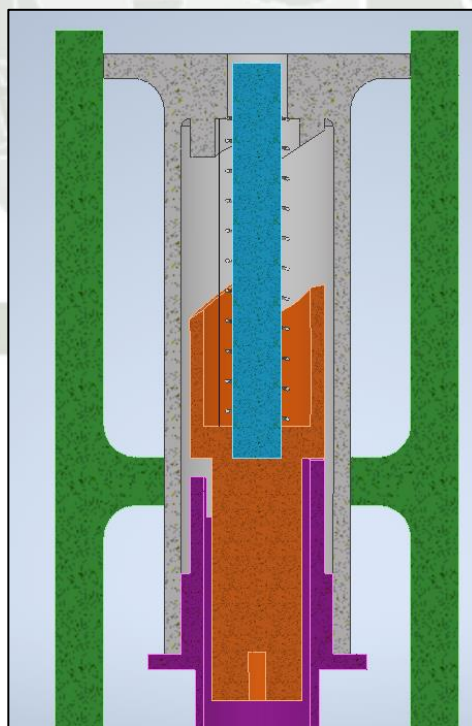


Figura 22. Ensamble mecanismo de desplazamiento vertical con enclavamiento vista con corte

Fuente: Elaboración propia

3.1.7.2. Electroimán

La bobina del electroimán que se diseñó, es una bobina sin núcleo de hierro. Se desprecia el peso del mecanismo de desplazamiento vertical, debido a que su masa es menor a 1g. El imán permanente de neodimio que se utilizó tiene forma de cubo, con medidas de 5 mm de arista. Por lo que el carrete que se diseñó para que pase tiene un diámetro interior de 7.4 mm. Además, en la Figura 23 se tiene las medidas que ocupará nuestra bobina para el electroimán.

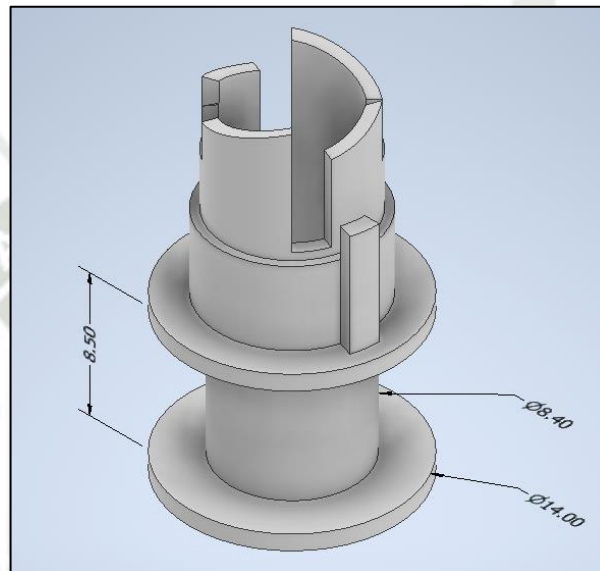


Figura 23. Medidas de carrete para electroimán

Fuente: Elaboración propia

El cable que se utilizó para la aplicación es un cable unifilar de cobre esmaltado, calibre 33 AWG. Tiene un diámetro aproximado de 0.2 mm.

El coeficiente de autoinducción se calculó con la siguiente fórmula extraída de (Pulido, 2010):

$$L = \frac{1.256 * N^2 * S}{l * 10^8} \text{ Henrios}$$

L = Coeficiente de autoinducción (Henrios)

N = Número de espiras

S = Sección del núcleo (medida del interior de la bobina) cm^2

l = longitud de la bobina

Donde el cálculo del coeficiente de autoinducción de nuestra bobina es el siguiente:

$$L = \frac{1.256 * 588^2 * 0.55}{0.085 * 10^8} = 28 \text{ mH}$$

La resistencia eléctrica de la bobina es la siguiente:

$$R = \rho * \frac{L}{A}$$

Donde:

R = Resistencia en Ω

ρ = Resistividad del cobre a temperatura de 20 °C ($1.68 * 10^{-8} \Omega * m$)

L = longitud en m

A = Área de sección transversal del cable en m^2

Por lo que nuestro cable tiene una resistencia de:

$$R = 1.68 * 10^{-8} * \frac{20}{\pi * 0.0001^2} = 10.69 \Omega$$

La corriente que pasará por nuestra bobina usando la ley de Ohm es:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{12}{10.69} = 1.1225 \text{ A}$$

Para calcular el flujo de campo magnético se utilizó la fórmula:

$$B = \frac{\mu_0 * N * I}{L}$$

Donde:

B = Flujo de campo magnético en teslas (T)

μ_0 = Permeabilidad del espacio libre (H/m)

N = Número de vueltas

I = Corriente en amperes (A)

L = Longitud del solenoide (m)

Por lo que nuestro flujo de campo magnético es:

$$B = \frac{4 * \pi * 10^{-7} * 588 * 1.1225}{0.0085} = 0.0975 \text{ T}$$

Finalmente, para calcular la fuerza que nos ofrece nuestra bobina se utiliza la siguiente fórmula:

$$F = \frac{B^2 * A}{2 * \mu_0}$$

Donde:

F = Fuerza del solenoide en Newton (N)

B = Flujo de campo magnético en Tesla (T)

A = Sección transversal del solenoide en metros cuadrados (m^2)

μ_0 = Permeabilidad del espacio libre (H/m)

Por lo que nuestra fuerza máxima generada por el electroimán es:

$$F = \frac{0.0975^2 * 1.17 * 10^{-4}}{2 * 4 * \pi * 10^{-7}} = 0.442 \text{ N}$$

Para convertir de Newton a gramos fuerza:

$$F = \frac{0.442}{9.81} * 1000 = 45.11 \text{ g} - f$$

3.1.7.3. Resorte

Para diseñar el resorte se tomará como fuerza de compresión el 70% de la fuerza generada por nuestro electroimán, para asegurar su correcto funcionamiento. Por lo tanto:

$$F = 45.11 * 0.7 = 35 \text{ g} - f \approx 0.077 \text{ lb} - f$$

El diámetro de cable de acero más delgado que se encontró en el mercado actual es de 0.2 mm. Además, las restricciones de medidas del mecanismo de desplazamiento son las siguientes:

Longitud máxima del resorte = 18.5 mm \approx 0.728"

Diámetro exterior del resorte = 5 mm \approx 13/64 = 0.203"

Las unidades se cambiaron al sistema inglés, debido a que se utilizarán las pautas de diseño de resorte de (OBERG, JONES, HORTON, & RYFFEL, 2004).

Usamos la tabla de la Figura 24, entramos con el valor del diámetro exterior del resorte, siendo esta 13/64” aproximadamente. Buscamos la carga que más cercana a la nuestra que sería 0.077 lb, entonces usaremos el valor de 0.203 lb. Además, la deflexión de cada curva para esta carga es de 0.1046”.

Spring Outside Dia.		Wire Size or Washburn and Moen Gauge, and Decimal Equivalent ^b																		
		.010	.012	.014	.016	.018	.020	.022	.024	.026	.028	.030	.032	.034	.036	.038	.041	.0475	.054	.0625
Nom.	Dec.	Deflection <i>f</i> (inch) per coil, at Load <i>P</i> (pounds) ^c																		
3/64	.1094	.0277	.0222	.01824	.01529	.01302	.01121	.00974	.00853	.00751	.00664	.00589	...	...	...	...	...	...	...	...
		.395	.697	1.130	1.722	2.51	3.52	4.79	6.36	8.28	10.59	13.35	...	...	...	...	...	...	...	...
1/8	.125	.0371	.0299	.0247	.0208	.01784	.01548	.01353	.01192	.01058	.00943	.00844	.00758	.00683	.00617	...	...	...	...	...
		.342	.600	.971	1.475	2.14	2.99	4.06	5.37	6.97	8.89	11.16	13.83	16.95	20.6	...	...	...	...	...
5/64	.1406	.0478	.0387	.0321	.0272	.0234	.0204	.01794	.01590	.01417	.01271	.01144	.01034	.00937	.00852	.00777	...	...	...	...
		.301	.528	.852	1.291	1.868	2.61	3.53	4.65	6.02	7.66	9.58	11.84	14.47	17.51	21.0	...	...	...	...
3/32	.1563	.0600	.0487	.0406	.0345	.0298	.0261	.0230	.0205	.01832	.01649	.01491	.01354	.01234	.01128	.01033	.00909	...	...	...
		.268	.470	.758	1.146	1.656	2.31	3.11	4.10	5.30	6.72	8.39	10.35	12.62	15.23	18.22	23.5	...	...	...
11/64	.1719	.0735	.0598	.0500	.0426	.0369	.0324	.0287	.0256	.0230	.0208	.01883	.01716	.01569	.01439	.01324	.01172	.00914	...	...
		.243	.424	.683	1.031	1.488	2.07	2.79	3.67	4.73	5.99	7.47	9.19	11.19	13.48	16.09	21.8	33.8	...	...
3/16	.1875	.0884	.0720	.0603	.0516	.0448	.0394	.0349	.0313	.0281	.0255	.0232	.0212	.01944	.01788	.01650	.01468	.01157	.00926	...
		.221	.387	.621	.938	1.351	1.876	2.53	3.32	4.27	5.40	6.73	8.27	10.05	12.09	14.41	18.47	30.07	46.3	...
13/64	.2031	.1046	.0854	.0717	.0614	.0534	.0470	.0418	.0375	.0338	.0307	.0280	.0257	.0236	.0218	.0201	.01798	.01430	.01155	...
		.203	.355	.570	.859	1.237	1.716	2.31	3.03	3.90	4.92	6.12	7.52	9.13	10.96	13.05	16.69	27.1	41.5	...
7/32	.2188	...	.1000	.0841	.0721	.0628	.0555	.0494	.0444	.0401	.0365	.0333	.0306	.0282	.0260	.0241	.0216	.01733	.01411	.01096
		...	.328	.526	.793	1.140	1.580	2.13	2.79	3.58	4.52	5.61	6.88	8.35	10.02	11.92	15.22	24.6	37.5	61.3
15/64	.2344	...	.1156	.0974	.0836	.0730	.0645	.0575	.0518	.0469	.0427	.0391	.0359	.0331	.0307	.0285	.0256	.0206	.01690	.01326
		...	.305	.489	.736	1.058	1.465	1.969	2.58	3.21	4.18	5.19	6.35	7.70	9.23	10.97	13.99	22.5	34.3	55.8
1/4	.250	...	...	.1116	.0960	.0839	.0742	.0663	.0597	.0541	.0494	.0453	.0417	.0385	.0357	.0332	.0299	.0245	.01996	.01578
		...	...	.457	.687	.987	1.366	1.834	2.40	3.08	3.88	4.82	5.90	7.14	8.56	10.17	12.95	20.8	31.6	51.1
5/32	.2813	...	...	.1432	.1234	.1080	.0958	.0857	.0774	.0703	.0643	.0591	.0545	.0505	.0469	.0437	.0395	.0323	.0268	.0215
		...	...	.403	.606	.870	1.202	1.613	2.11	2.70	3.40	4.22	5.16	6.24	7.47	8.86	11.26	18.01	27.2	43.8
3/16	.3125	...	...	...	.1541	.1351	.1200	.1076	.0973	.0886	.0811	.0746	.0690	.0640	.0596	.0556	.0504	.0415	.0347	.0281
		...	...	...	.542	.778	1.074	1.440	1.881	2.41	3.03	3.75	4.58	5.54	6.63	7.85	9.97	15.89	23.9	38.3
11/32	.3438	...	...	...	...	.1633	.1470	.1321	.1196	.1090	.0999	.0921	.0852	.0792	.0733	.0690	.0627	.0518	.0436	.0355
		...	...	...	...	.703	.970	1.300	1.697	2.17	2.73	3.38	4.12	4.98	5.95	7.05	8.94	14.21	21.3	34.1
3/8	.375	...	...	...	...	...	.1768	.1589	.1440	.1314	.1206	.1113	.1031	.0960	.0895	.0839	.0764	.0634	.0535	.0438
		...	...	...	...	...	.885	1.185	1.546	1.978	2.48	3.07	3.75	4.53	5.40	6.40	8.10	12.85	19.27	30.7

^a This table is for ASTM A229 oil tempered spring steel with a torsional modulus *G* of 11,200,000 psi, and an uncorrected torsional stress of 100,000 psi. For other materials use the following factors: stainless steel, multiply *f* by 1.067; spring brass, multiply *f* by 2.24; phosphor bronze, multiply *f* by 1.867; Monel metal, multiply *f* by 1.244; beryllium copper, multiply *f* by 1.725; Inconel (non-magnetic), multiply *f* by 1.045.

^b Round wire. For square wire, multiply *f* by 0.707, and *p*, by 1.2

^c The upper figure is the deflection and the lower figure the load as read against each spring size. *Note*: Intermediate values can be obtained within reasonable accuracy by interpolation.

SPRING DESIGN

325

Figura 24. Deflexiones de resortes de compresión y extensión

Fuente: (OBERG, JONES, HORTON, & RYFFEL, 2004)

De acuerdo con la descripción de la tabla asumiremos que estamos usando el mismo material acero ASTM A229 templado en aceite. El estrés torsional por lo tanto no está corregido y se asume de 100000 psi. Para corregir esto se multiplicará por el porcentaje de la carga real que se usará respecto de la carga más próxima asumida en la tabla de la Figura 24.

$$\text{Porcentaje} = \frac{0.077}{0.203} = 37.9\%$$

El esfuerzo con esta carga real de 0.077 por lo tanto también será proporcional al 37.9% del esfuerzo de la tabla.

$$S = 0.379 * 100000 = 37931,034 \text{ PSI}$$

Este porcentaje también es usado para calcular la deflexión del resorte por espira para una carga real de 0.077lb.

$$f = 0.379 * 0.1046 = 0.0396''$$

El número de espiras activas es la siguiente:

$$AC = \frac{F}{f} = \frac{0.728/2}{0.0396} = 9.19 \approx 9$$

El total de espiras del resorte deberá ser entonces:

$$TC = AC + 2 = 9 + 2 = 11$$

3.1.8. Circuitos electrónicos

3.1.8.1. Circuito electrónico de accionamiento de actuador

El circuito de accionamiento para el actuador se diseñó tomando en cuenta la bobina que se diseñó para el electroimán con una inductancia de 28 mH. Partiendo de esta premisa se le colocará un diodo snubber para la protección contra picos de voltaje inversos, como consecuencia del voltaje de contragolpe inductivo.

Para el diodo snubber se utilizará será el MBR260HW debido a que este tiene una caída de voltaje de 0.52V en la hoja técnica de datos del Anexo F.

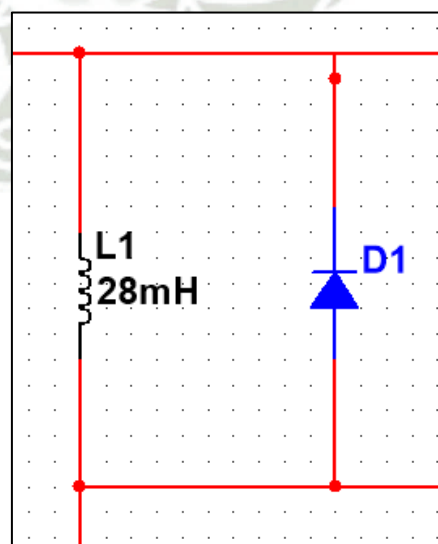


Figura 25. Circuito snubber para accionamiento electroimán

Fuente: Elaboración propia

Además, como se determinó en la selección de tecnologías se utilizará un transistor mosfet del tipo N para conmutar el actuador. Se seleccionó el transistor IRLML6334TRPbF, por tener las características necesarias para nuestra aplicación. Tiene un tamaño reducido con el paquete SOT-23. Sin embargo, se comprueba por medio de cálculo que su disipación calórica no excede lo deseado para la placa electrónica.

El transistor mosfet tiene una resistencia equivalente a 29 mΩ cuando el voltaje entre el gate y source es de 4.5V. Para evaluar el comportamiento térmico del transistor mosfet se tomará la resistencia en este como 29 mΩ.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{12}{R_{imán} + R_{mosfet}} = \frac{12}{10.69 + 0.029} = 1.12 \text{ A}$$

La potencia en el mosfet entonces será:

$$P = V * I = I^2 * R = 1.12^2 * 0.029 = 0.036 \text{ W}$$

Como se usará el componente con paquete SOT-23 se debe multiplicar la potencia que disipa el mosfet por el factor de disipación térmica al ambiente que se puede encontrar también en la hoja de datos del Anexo G.

$$T_{mosfet} = T_{amb} + T_{disp} = 23 + 100 * 0.036 = 26.6 \text{ °C}$$

El mosfet tiene el comportamiento deseado para la carga indicada.

Se usa un divisor de voltaje, con 2 resistencias de valores 1 kΩ y 10kΩ, para la activación de la puerta del mosfet, donde el amperaje en la puerta del mosfet es:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{3.3}{11k} = 0.0003 \text{ A}$$

El voltaje de la resistencia de 10 kΩ es el que se utiliza para activar la puerta, siendo:

$$V = I * R = 0.0003 * 10000 = 3V$$

Esto confirma que el funcionamiento es el correcto para activar el mosfet por la información de la hoja de datos del Anexo G.

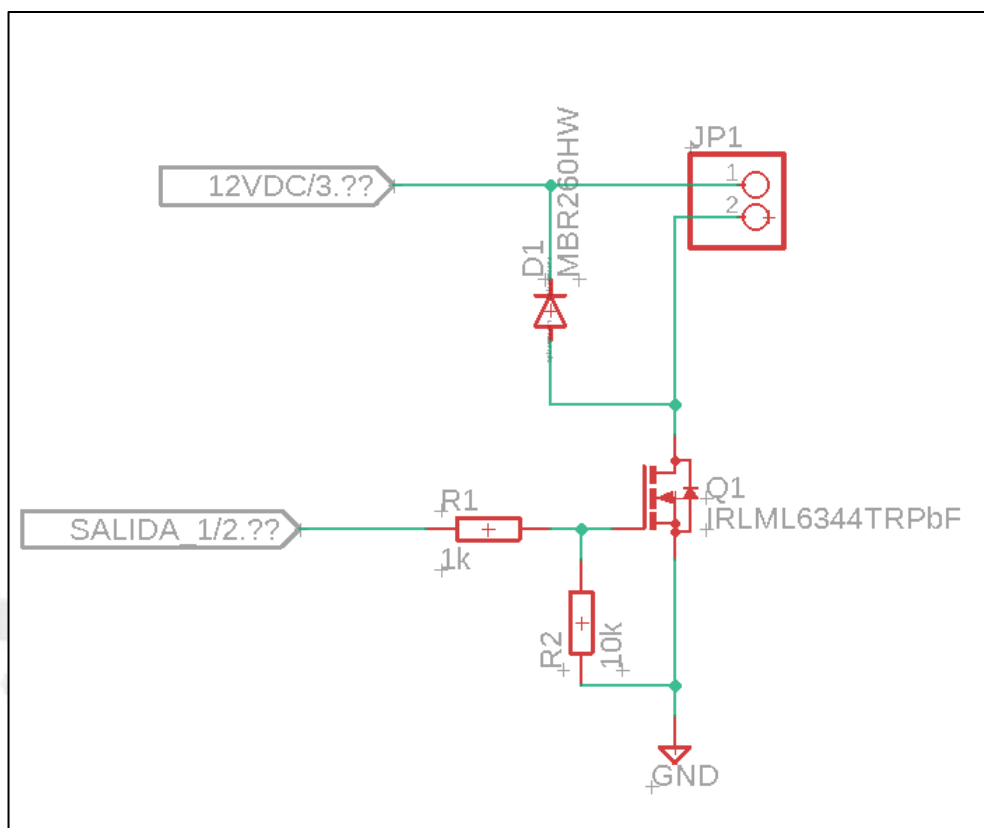


Figura 26. Circuito de accionamiento de actuador

Fuente: Elaboración propia

Se simuló el circuito con componentes equivalentes en el software Multisim para comprobar su correcto funcionamiento antes de la implementación.

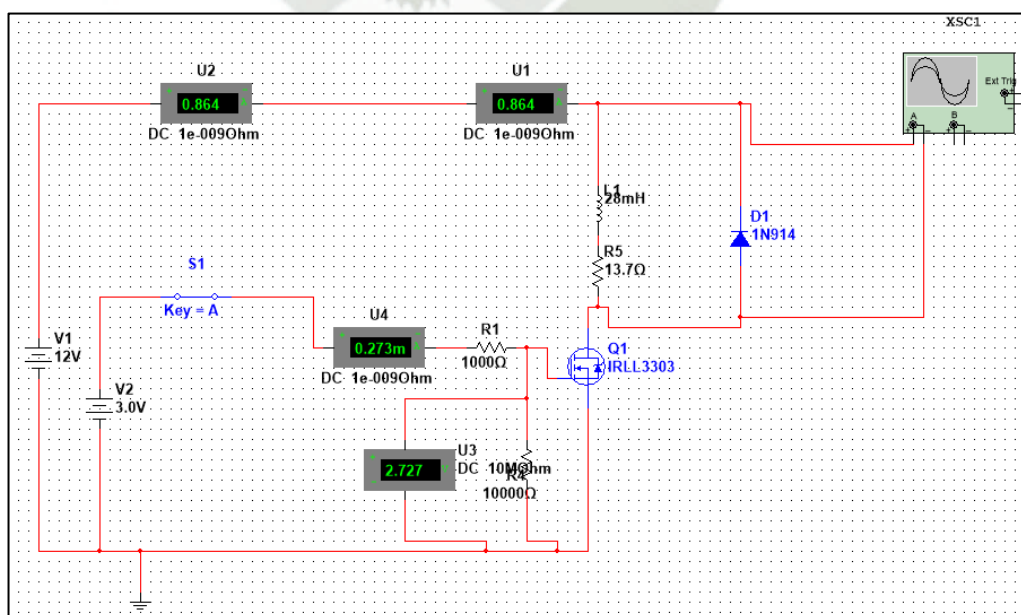


Figura 27. Circuito de accionamiento de actuador simulado

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 28 se observa el comportamiento del circuito diseñado, comprobando que se atenúa el voltaje de contragolpe inductivo de la bobina del electro imán.

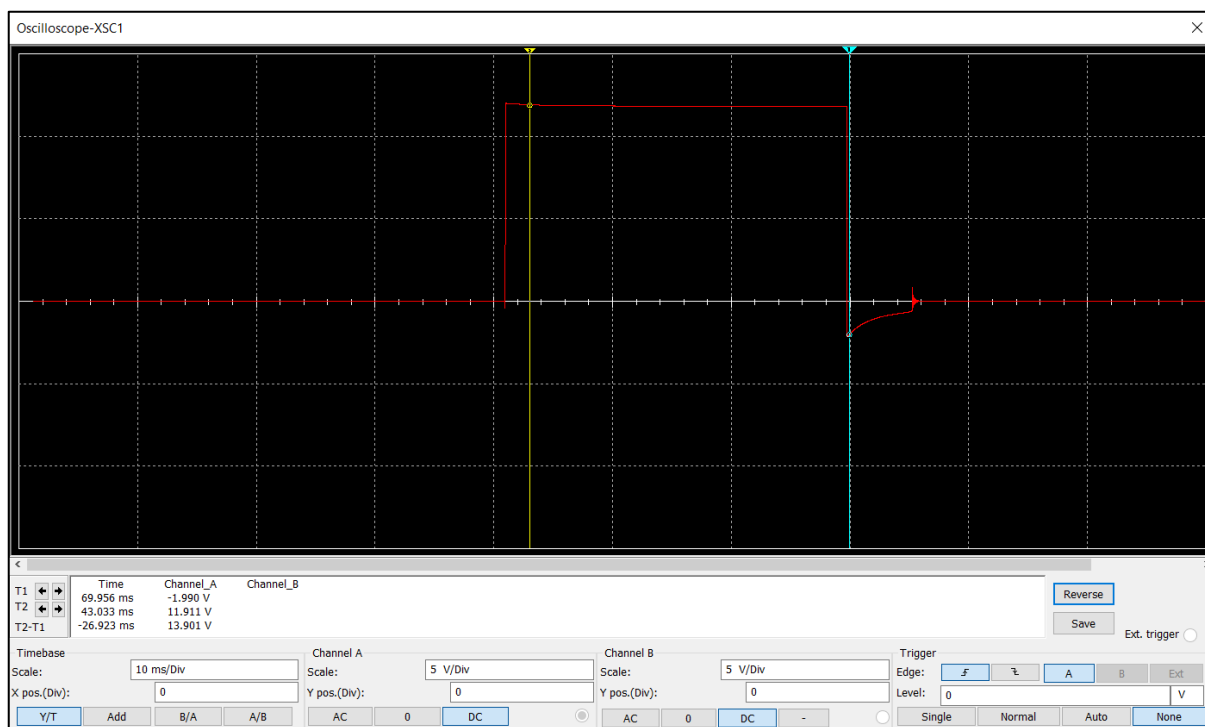


Figura 28. Comportamiento del voltaje de la bobina del actuador

Fuente: Elaboración propia

3.1.8.2. Circuito de fuente de alimentación

El dispositivo está pensado para recibir alimentación de 12 VDC ya tratados en una fuente externa. En la Tabla 11 se identifican las cargas dependientes de esta fuente se sumaron las corrientes y potencias de los componentes utilizados.

Tabla 11.

Tabla de cargas utilizadas

Fuente: Elaboración propia

Componente	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia unitaria (W)	N° de dispositivos funcionando en simultáneo	Potencia total (W)
Electroimán	12	1.12	13.44	1	13.44

Puerta de mosfet	3.3	0.0003	0.00099	1	0.00099
Shift register	5	0.0003	0.0015	1	0.0015
ESP32	3.6	0.080	0.288	1	0.288
Circuito micro SD	3.3	0.004	0.0132	1	0.0132
Botones	3.3	0.00033	0.001089	3	0.001089
Total					13.75

Por lo tanto, la potencia total a utilizar será multiplicada por un factor de seguridad del 20%.

$$P = 13.75 * 1.2 = 16.5 \text{ W}$$

$$I = \frac{P}{V} = \frac{16.5}{12} = 1.375 \text{ A}$$

La fuente a utilizar debe tener una potencia de 16.5 W y proporcionar 12 V a 1.375 A como mínimo.

Para el diseño de los regulares de voltaje a utilizar, los cuales deben tener 12 V, 5V y 3.3 V se usó el esquemático de la placa de desarrollo ESP32 de (Espressif, 2017)

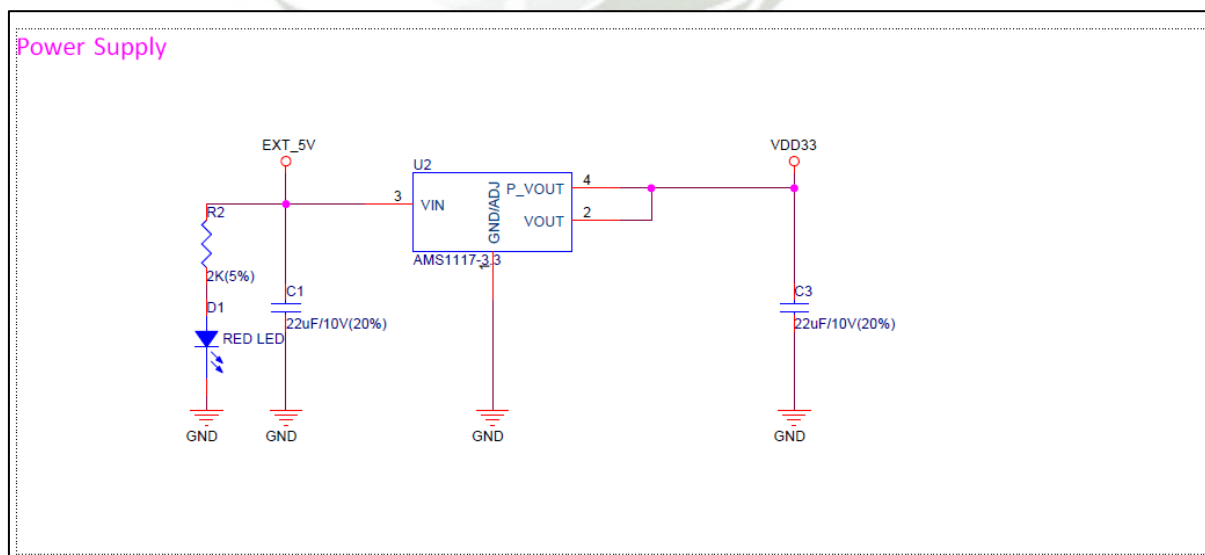


Figura 29. Esquemático de fuente de 3.3V

Fuente: (Espressif, 2017)

Para el diseño de los reguladores de 12 V y 5 V se usó el modelo que recomiendan en su hoja de datos.

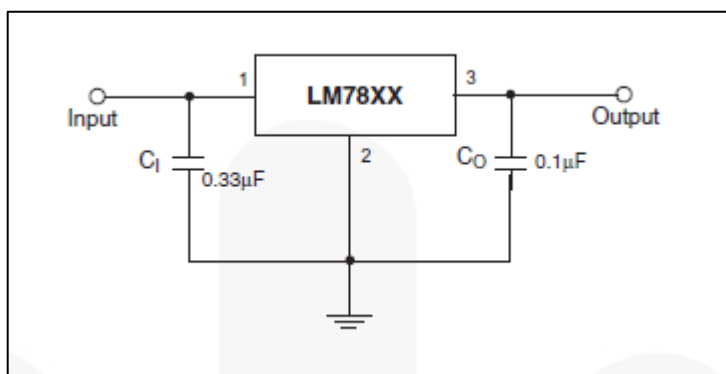


Figura 30. Circuito regulador de voltaje 5 V y 12 V

Fuente: (Farichild, 2006)

Al circuito de la Figura 30 se le añadió un diodo schottky BAT60J para evitar el regreso de corriente al circuito de 5V y en el caso del regular de 12 V por ser el principal se le añadió un fusible PTC de 1.5 A con un paquete SMT 1206 para proteger todo el circuito.

Además de conectarse un interruptor para encender el circuito, se dejó pines para conectar una batería externa de ser el caso deseable.

3.1.8.3. Circuito de multiplicación de palabra

Para multiplicar la palabra de salida de control del microcontrolador se seleccionaron shift register de 8 bits con una salida extra para su conexión en cascada. Se conectarán 8 de estos circuitos integrados 74HC595D en su paquete SO16. Cada shift register debe usar todas sus salidas, sin embargo, no al mismo tiempo.

Para evitar el ruido de señales por frecuencias de conmutación altas se le añadió un capacitor cerámico de 0.1 uF en la entrada de voltaje de cada shift register.

La salida de cada shift register se está diseñando para conectarse directamente al circuito de accionamiento del actuador, a la puerta de activación del transistor mosfet. En el Anexo J se encuentra la hoja de datos del circuito integrado.

3.1.8.4. Circuito del microcontrolador

De igual manera que en el diseño de la fuente de voltaje se tomaron los esquemáticos de (Espressif, 2017) que están habilitados en su web para el desarrollo de hardware con su microcontrolador.

El circuito cuenta con un conversor de UART a USB para poder conectarse con la computadora con ayuda del puerto serial virtual de la misma y grabar el firmware en el microcontrolador. Además, este puerto UART también se usará para la transmisión de los archivos de texto desde la PC hacia el microcontrolador que los guardará en la memoria micro SD del dispositivo.

Se le cambió en el diseño el capacitor de activación EN del microcontrolador. Para asegurar el retardo de la señal en el pin EN del microcontrolador y así poder resetear de manera instantánea el microcontrolador y que este pueda ejecutar el programa. Con la fórmula de (Unicrom, s.f.) se corrobora el tiempo de demora del circuito RC de retraso de señal. Para que el capacitor alcance el 63.2% en un tiempo T:

$$T = R * C$$

T = Tiempo de carga al 63.2% en milisegundos

R = Resistencia en Ω

C = Capacitancia en milifaradios

$$T = 10000 * 0.01 = 100 \text{ ms}$$

$$T_{99\%} = 5 * T = 500 \text{ ms}$$

En el extracto de la hoja de datos del controlador que proporciona (Espressif Systems, 2023) se detalla que la señal de EN que activa al microcontrolador debe tardar aproximadamente 50 μ s posterior al energizado del circuito y que puede variar dependiendo de nuestra aplicación. En este caso se aseguró el funcionamiento del microcontrolador con un capacitor de 10 μ F que tiene un tiempo de carga al 99% de 500 ms.

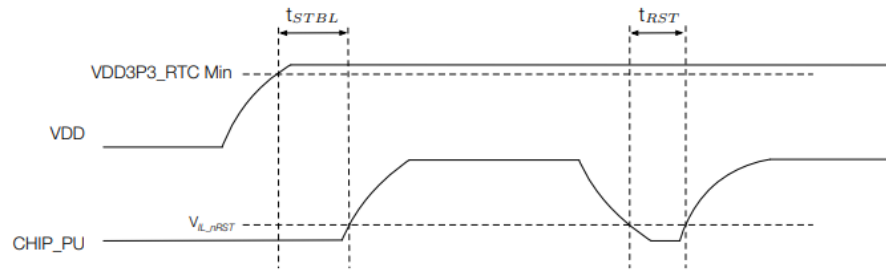


Figure 2-4. Visualization of Timing Parameters for Power-up and Reset

Table 2-2. Description of Timing Parameters for Power-up and Reset

Parameter	Description	Min (μs)
t_{STBL}	Time reserved for the 3.3 V rails to stabilize before the CHIP_PU pin is pulled high to activate the chip	50
t_{RST}	Time reserved for CHIP_PU to stay below $V_{IL,nRST}$ to reset the chip (see Table 4-3)	50

- In scenarios where ESP32 is powered up and down repeatedly by switching the power rails, while there is a large capacitor on the VDD33 rail and CHIP_PU and VDD33 are connected, simply switching off the CHIP_PU power rail and immediately switching it back on may cause an incomplete power discharge cycle and failure to reset the chip adequately.
An additional discharge circuit may be required to accelerate the discharge of the large capacitor on rail VDD33, which will ensure proper power-on-reset when the ESP32 is powered up again.
- When a battery is used as the power supply for the ESP32 series of chips and modules, a supply voltage supervisor is recommended, so that a boot failure due to low voltage is avoided. Users are recommended to pull CHIP_PU low if the power supply for ESP32 is below 2.3 V.

Figura 31. Información sobre la señal de EN en el microcontrolador

Fuente: (Espressif Systems, 2023)

El controlador está conectado a las señales de control externo que son los 3 pulsadores. En la Figura 32 se observa que se colocaron resistencias Pull-Down para la señal de cada uno de los 3 botones.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{3.3}{10000} = 0.33 \text{ mA}$$

La corriente de llegada al microcontrolador queda controlada. Además, para evitar los errores de lectura por ruido se implementó el capacitor de 100 nF para anti rebote de señal.

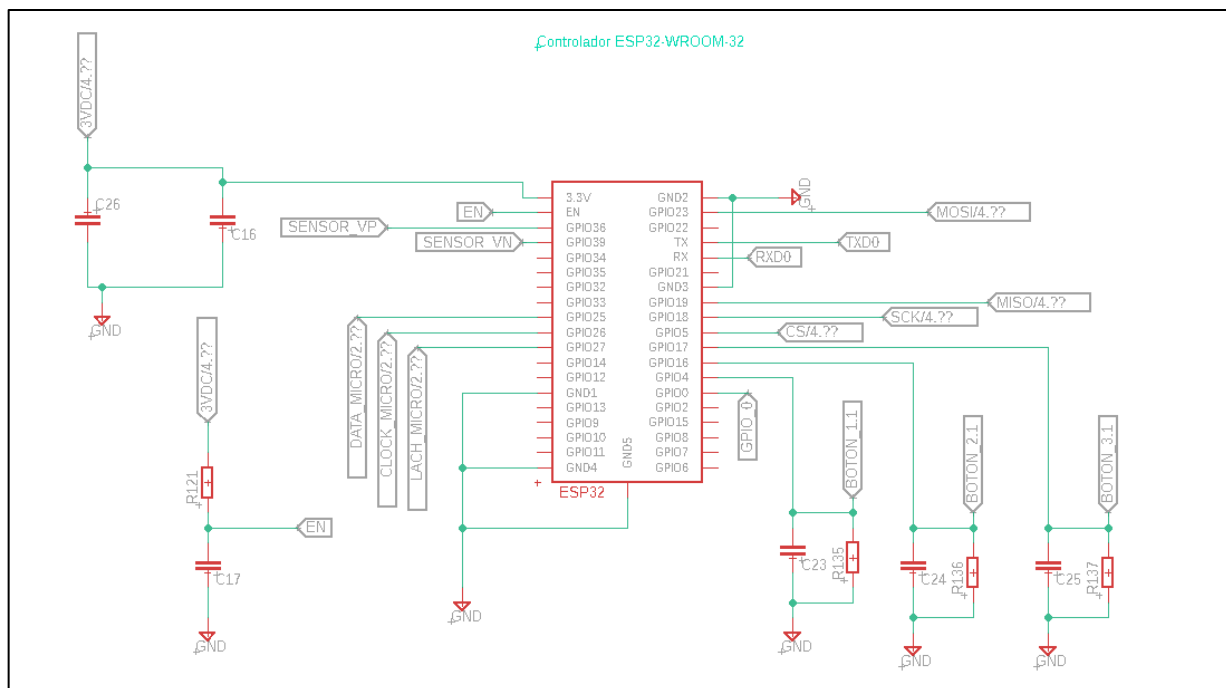


Figura 32. Circuito de señales de microcontrolador

Fuente: Elaboración propia

3.1.8.5. Circuito comunicación de tarjeta micro SD

El circuito de comunicación con la tarjeta micro SD se realizó siguiendo el diagrama esquemático de la Figura 34. Se omitió el regulador de voltaje de 3.3 V y se alimentó de nuestro regulador de voltaje diseñado anteriormente. Para la comunicación por SPI con la tarjeta micro SD se usa un circuito integrado 74HC125 que es un buffer cuádruple de 3 estados.

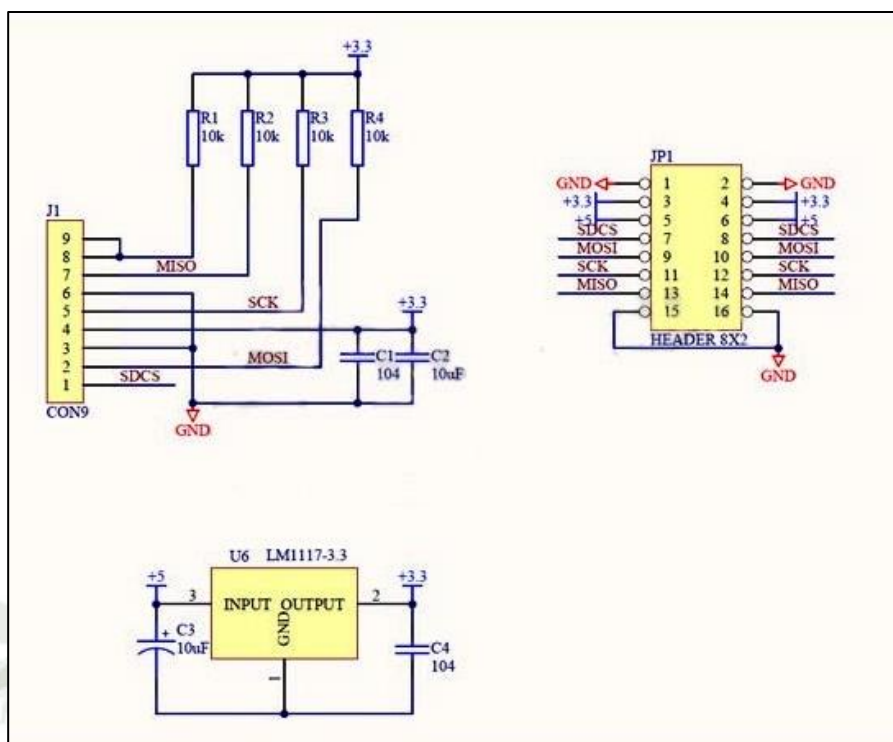


Figura 33. Esquemático de módulo micro SD

Fuente: (Electrónicos Caldas, s.f.)

3.1.8.6. Tarjeta PCB

Para el diseño de la tarjeta de circuito impreso se utilizó el software CAD Eagle de Autodesk.

La información para el dimensionamiento de las pistas de cobre de la tarjeta de circuito impreso y criterios de diseño del PCB fueron tomadas de (Coomb, 2008). Se utilizarán las tablas para dimensionamiento de conductores internos de IPC 2221 “Estándar genérico en diseño de tarjetas impresas”. Las tablas de las Figuras 35 y 36 se usan para dimensionar las pistas externas en las placas. El diseño del proyecto tomará en cuenta el uso de una PCB impresa en material FR4 sólo doble cara, con componentes tanto en la parte superior e inferior.

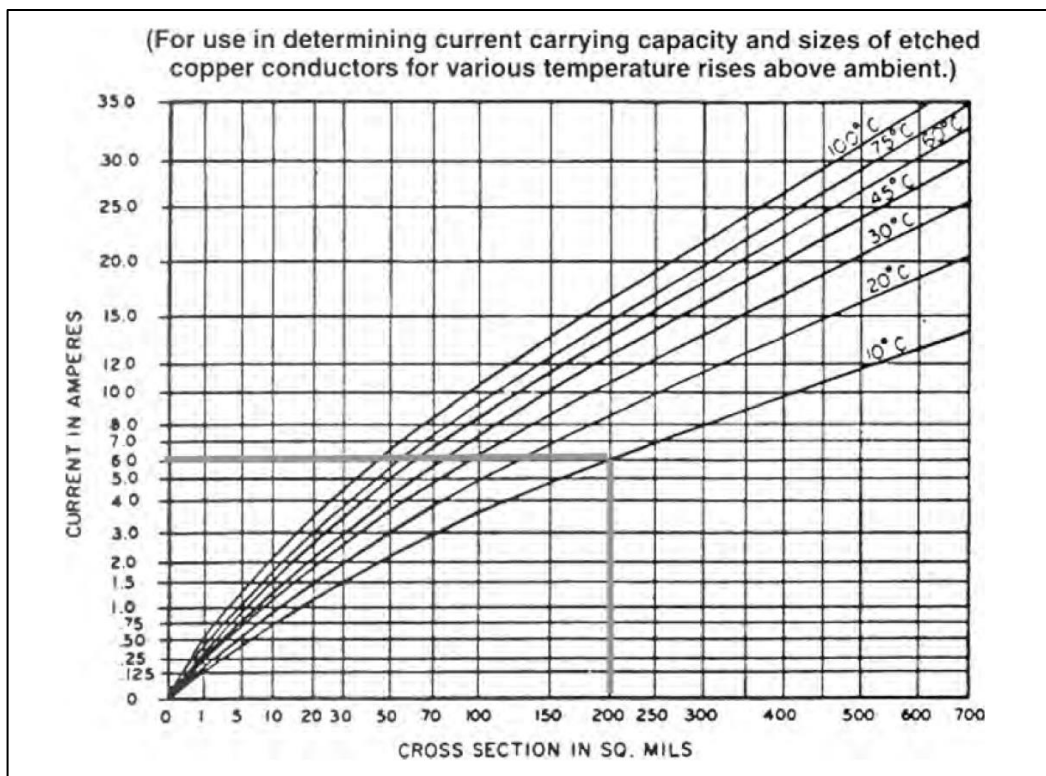


Figura 34. Tabla para determinar la capacidad de corriente

Fuente: (Coombs, 2008)

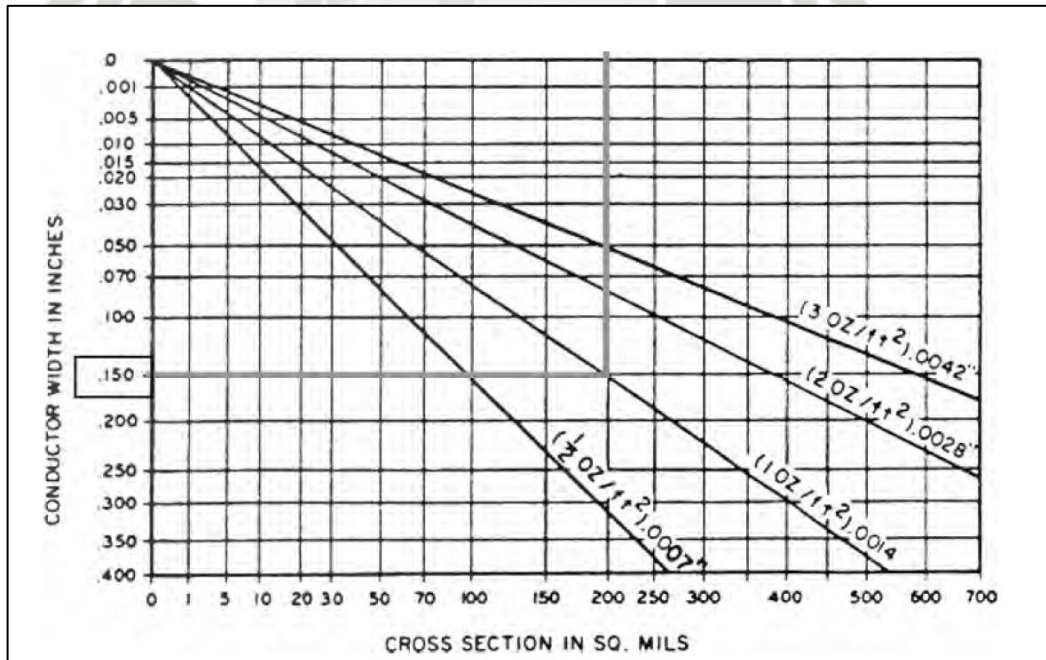


Figura 35. Tabla para selección de ancho de pista dependiendo de la corriente

Fuente: (Coombs, 2008)

3.1.8.7. Circuito electrónico de accionamiento de actuador

Se considera la corriente anteriormente calculada de 1.12 A para el circuito de accionamiento del actuador. El voltaje que alimentará a la señal de fuerza de accionamiento del actuador es de 12 V y sale del regulador de voltaje de 12 V diseñado también anteriormente.

Entramos a la tabla de la Figura 35 con la corriente de 1.12 A y hallamos la intersección con la curva de 10°C. Obtenemos una sección transversal de 20 th^2 . Posteriormente entramos a la tabla de la Figura 35 con 20 th^2 de sección transversal y encontramos la intersección que tiene con la recta correspondiente a 1 oz que es el espesor estándar de los fabricantes de PCB. El valor obtenido para el ancho de nuestra pista es 0.020" aproximadamente. Finalmente multiplicamos con nuestro factor de seguridad.

$$\text{Ancho} = 0.020 * 1.3 = 0.026 = 26 \text{ th}$$

3.1.8.8. Circuito de fuente de alimentación

Los cálculos la parte de la PCB ocupada por la fuente de alimentación tomará en cuenta la corriente resultante de los cálculos de diseño de fuente.

$$A = 1.375 \approx 1.4 \text{ A}$$

Entramos a la tabla de la Figura 34 con la corriente de 1.4 A y hallamos la intersección con una curva estimada de 10°C. Obtenemos una sección transversal de 20 th^2 . Posteriormente entramos a la tabla de la Figura 36 con 20 th^2 de sección transversal y encontramos la intersección que tiene con la recta correspondiente a 1 oz que es el espesor estándar de los fabricantes de PCB. El valor obtenido para el ancho de nuestra pista es 0.020" aproximadamente. Finalmente multiplicamos con nuestro factor de seguridad.

$$\text{Ancho} = 0.020 * 1.5 = 0.03 = 30 \text{ th}$$

Se optará por usar este mismo ancho de pista para el accionamiento de actuador.

3.1.8.9. Circuito de conexión de salida de shift register a transistor mosfet

Se calculó en la etapa de diseño una corriente en el circuito de accionamiento del actuador de 0.3 m A. Estimando una curva de 10 °C en la tabla de la Figura 34, obtenemos una sección transversal de 1 th^2 . Al entrar en la tabla de la Figura 35 con el valor de 10 th^2 y la recta correspondiente al espesor de PCB de 1 oz obtenemos un ancho del conductor de 0.002”.

Para que no haya problemas en la manufactura se usará un ancho de pista de 0.006”.

3.1.8.10. Circuito de alimentación para los shift register

Para el circuito de alimentación de los shift register se tomará una corriente de 0.035 A, pero se considerará la alimentación de 9 shift register en simultáneo.

$$A = 0.035 * 9 = 0.315 A$$

Entrando con este valor de corriente a la tabla de la Figura 34, obtenemos una sección transversal de 6 th^2 . Entrando con este valor de sección transversal y encontrando su punto de intersección con la recta de 1 oz se encuentra el valor de 0.008” para la pista.

Al ser una línea de alimentación multiplicaremos por un factor de seguridad.

$$Ancho = 0.008 * 2 = 0.016 = 16 th$$

Se utilizará el mismo ancho de pista para la señal de habilitación del microcontrolador.

3.1.8.11. Circuito de alimentación del microcontrolador

El microcontrolador en su hoja de datos indica que su valor de corriente es 80 mA así que se trabajará con esta. Entramos con este valor a la tabla de la Figura 35 y obtenemos un valor de sección transversal de 1 th^2 , posteriormente entrando a tabla de la Figura 35 con este valor se obtiene un ancho de pista de 0.002”. Para evitar problemas en la alimentación se multiplicará por un factor de seguridad.

$$Ancho = 0.002 * 5 = 0.010 = 10 th$$

3.1.8.12. Otras pistas

Para las demás pistas que tiene corrientes muy pequeñas se usarán anchos de pista de 6 *th* y 16 *th*.

Además, se harán planos de tierra tanto en la capa superior como inferior para atenuar el ruido y además mejorar la disipación térmica en algunos componentes.

3.1.9. Software de control

3.1.9.1. Ámbito del sistema

El software a desarrollar será integrado para controlar los actuadores del dispositivo además de extraer los datos de la memoria micro SD y determinar qué acción realizar como reacción a los botones de usuario.

3.1.9.2. Perspectiva del producto

El dispositivo recibirá una señal a las GPIO relacionadas a los 3 botones (derecha, izquierda, centro) y dependiendo de la señal que reciba, cambiará de estado y realizará la acción que corresponde, ya sea navegar dentro del archivo de texto que se haya seleccionado con anterioridad o se navegará en la biblioteca de libros que el dispositivo tiene almacenado en la tarjeta de memoria micro SD.

3.1.9.3. Funciones del producto

1. El software brindará las siguientes funciones:
 - a. Activación de puntos re escribibles.
 - b. Lectura de la señal de botones de navegación.
 - c. Lectura y escritura de punteros en la memoria micro SD.
2. El software no brindará los siguientes servicios:
 - a. Escritura de libros en la memoria micro SD.
 - b. Lectura de la salida escrita.
 - c. No tendrá conexiones Bluetooth.

3.1.9.4. Características de los usuarios

Los usuarios de este dispositivo son personas sin instrucción técnica previa, que tienen una discapacidad visual. Además, también pueden ser instructores de personas invidentes o familiares.

3.1.9.5. Restricciones del software

El software de este dispositivo debe caber en la memoria flash del microcontrolador ESP32 escogido.

3.1.9.6. Suposiciones y dependencias

Se asume que se dispondrá del hardware necesario para realizar las pruebas de funcionamiento del software.

Requisitos específicos

a. Interfaces externas

- El software se comunicará con una memoria no volátil micro SD por medio del protocolo SPI.
- El software recibirá señales digitales de los botones de navegación de usuario por medio del periférico GPIO.
- El software mandará señales de activación por medio de salidas GPIO que controlan los shift register.

b. Funciones

b.1. Control de puntos re escribibles

- El software deberá mandar señales de clock, strobe y data para los con un periodo de tiempo no mayor a 100 ms.
- La salida del software debe mantener como máximo una salida prendida.

b.2. Lectura y escritura de memoria micro SD

- El software debe leer las palabras de los documentos de texto que se encuentran en la tarjeta de memoria micro SD.
- Deberá acceder a los nombres de los documentos de texto.
- Deberá escribir en la memoria micro SD un marcador de la última palabra que se leyó del documento de texto y también leer este marcador.
- Lectura de señales digitales de botones de navegación de usuario

- El software deberá recibir las entradas digitales por medio de los pines GPIO (4, 16 y 17).
- Deberá determinar el cambio de estado del software como consecuencia de la entrada de botón presionado.

3.1.9.7. Atributos del sistema

- Mantenibilidad: el software deberá tener que poder ser actualizable.
- Confiabilidad: el software debe asegurar su funcionamiento en condiciones normales de operación durante al menos 1 año de uso.
- Seguridad: el usuario no podrá modificar los documentos de texto mediante los botones de usuario.

3.1.9.8. Casos de uso

a. Caso de uso 1

En la Tabla 12 se representa el primer caso de uso, donde se toma en cuenta un uso ideal de parte del usuario con el dispositivo de lectura. Se sigue un flujo de trabajo ideal.

Tabla 12.
Caso de uso 1

Fuente: Elaboración propia

Título		Descripción
1.	Nombre	Escoger libro a leer.
	1.1. Breve descripción	El usuario selecciona el libro que desea leer.
	1.2. Actor principal	Persona con discapacidad visual
	1.3. Disparadores	Se prendió el dispositivo y se navega entre los libros de la memoria micro SD.
2.	Flujo de eventos	
	2.1. Flujo básico	<ol style="list-style-type: none"> El usuario prende el dispositivo El usuario presiona el botón de derecha o izquierda para navegar entre los distintos documentos de texto. El software identifica en qué documento de texto se encuentra. El software manda la señal de salida que mostrará el nombre del documento en los puntos re escribibles.

- e. El usuario lee el nombre del documento.
- f. El usuario entra al documento por medio del botón centro presionándolo 10 segundos.
- g. El software identifica que se presionó durante 10 segundos el botón centro y entra al documento.

2.2. Flujo alternativo

Alternativa al paso “f.1”. El usuario no presiona el botón centro por más de 10 segundos. Se regresa al paso b, selección de documento y no se entra al documento.

- 3. Requerimientos especiales Ninguno
- 4. Pre-condiciones El dispositivo se prendió con todos los puntos re escribibles en estado desactivado.
- 5. Post-condiciones El dispositivo entró al documento de texto escogido.

b. Caso de uso 2

En la Tabla 13 se muestra el segundo caso de uso del proyecto, donde se toma en una cuenta una variación del funcionamiento adecuado del dispositivo. El usuario regresa al estado de selección de títulos del dispositivo. Se identifica que no se tendrán requerimientos especiales para este caso de uso y se generan dos alternativas con respecto a los pasos b y c.

Tabla 13.
Caso de uso 2

Fuente: *Elaboración propia*

Título	Descripción
1. Nombre	Leer el documento de texto
1.1. Breve descripción	El usuario navega entre las palabras del documento de texto.
1.2. Actor principal	Persona con discapacidad visual
1.3. Disparadores	Se entró con el botón centro al documento de texto que se desea leer.
2. Flujo de eventos	

2.1. Flujo básico

- a. El software identifica el número de palabra en que se quedó la última vez que se abrió el documento.
- b. El usuario manda las señales para activar los puntos re escribibles con la palabra de documento.
- c. El usuario lee la palabra y al terminarla presiona derecha para pasar a la siguiente palabra.
- d. El usuario termina de leer y presiona el botón centro durante 10 segundos para volver a la selección de documento.

2.2. Flujo alternativo

Alternativa al paso “c.1.”. El usuario no presiona el botón derecho, sino que el botón izquierdo. Se regresa a la palabra anterior del documento.
 Alternativa al paso “d.1.”. El usuario no presiona el botón centro por más de 10 segundos por lo que se regresa al documento de texto que se está leyendo, al paso “b”.

3. Requerimientos especiales

Ninguno

4. Pre-condiciones

El usuario entró al documento de texto que eligió.

5. Post-condiciones

Se muestra la palabra del documento de texto.

3.1.9.9. Arquitectura

a. Patrones

Para este software se utilizarán 3 patrones arquitectónicos de software:

- Arquitectura de capas

Se implementan 3 capas para separar la funcionalidad del software.

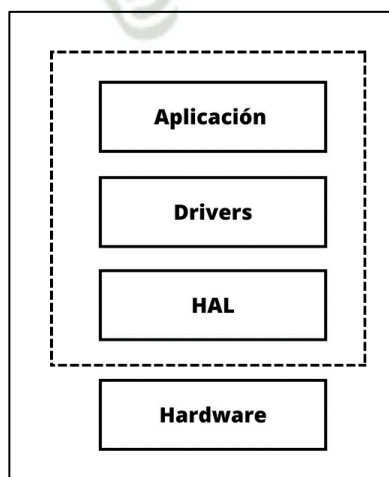


Figura 36. Diagrama de capas de abstracción

Fuente: Elaboración propia

- Observar y reaccionar

Patrón que se usa porque se monitorea las entradas de los botones de navegación de usuario de manera rutinaria.

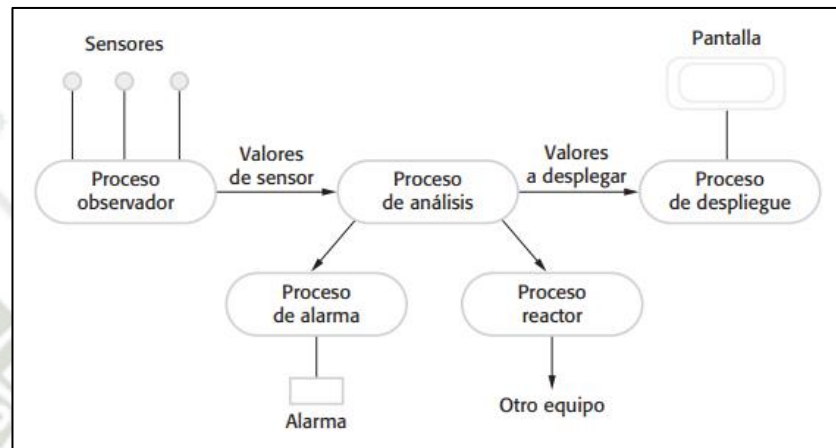


Figura 37. Estructura de proceso de observar y reaccionar

Fuente: (Somerville, 2011)

- Capa de abstracción de software

Se utiliza este patrón para abstraer el acceso al hardware. Se utilizará la HAL (Hardware abstraction layer) brindada por la empresa desarrolladora del microcontrolador.

b. Componentes

Los componentes pertenecen a la capa de aplicación:

- Control de puntos re escribibles: El software envía por medio de señales digitales los datos necesarios para activar y desactivar las salidas que manejan los puntos re escribibles.
- Monitoreo de botones de navegación: El software encuesta con periodo de tiempo de 10 ms el estado de los botones para conocer cuál se presiona y toma una acción.
- Control de acceso a memoria micro SD: El software accede a los datos de los documentos de texto dentro la memoria micro SD por medio del protocolo SPI.

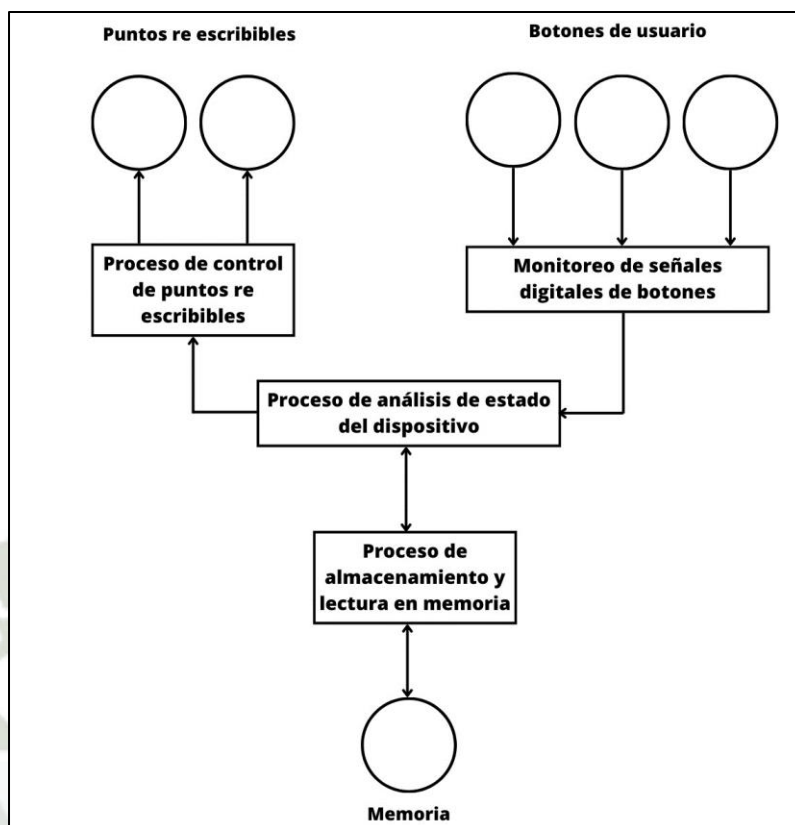


Figura 38. Arquitectura de componentes

Fuente: Elaboración propia

c. Interfaces externas

- Interfaz con memoria: mediante el periférico SPI se comunica con la memoria micro SD.
- Interfaz digital con shift register: mediante 3 señales digitales se realiza el control de los shift register que terminan activando y desactivando los puntos re escribibles. Se utiliza el módulo GPIO.
- Interfaz de monitoreo de botones: mediante el módulo GPIO se monitorean los botones de navegación de usuario.

3.2. Implementación

En este capítulo desarrollaremos una descripción de cómo se procedió con la implementación de las diferentes partes del proyecto.

3.2.1. Implementación del actuador

Para la implementación del actuador, como se colocó en la parte de diseño del actuador se utilizó el método iterativo.

Se comenzó replicando el mecanismo de enclavamiento de un lapicero retráctil.



Figura 39. Vista de las 3 piezas del mecanismo de enclavamiento del lapicero

Fuente: Elaboración propia



Figura 40. Vista de 2 piezas ensambladas del mecanismo de enclavamiento de lapicero

Fuente: Elaboración propia

Una pieza de rotación gira con ayuda a unos dientes en una pieza fija que es la empuja el dedo, luego de esta rotación se enclava la pieza rotatoria en las guías que se encuentran en el cuerpo del lapicero. De esta manera se enclava el lapicero con la punta en el exterior.

Se realizaron varias réplicas en una escala mayor del mecanismo del lapicero. Se utilizó una impresora Artillery SideWinder X1 para las pruebas con una boquilla de 0.4 mm de diámetro en la punta y material PLA+ de la marca Esun.

En la Figura 41 los 3 modelos tienen pequeñas variaciones donde se fueron probando diversos parámetros de impresión, tolerancias y ángulos de los dientes.

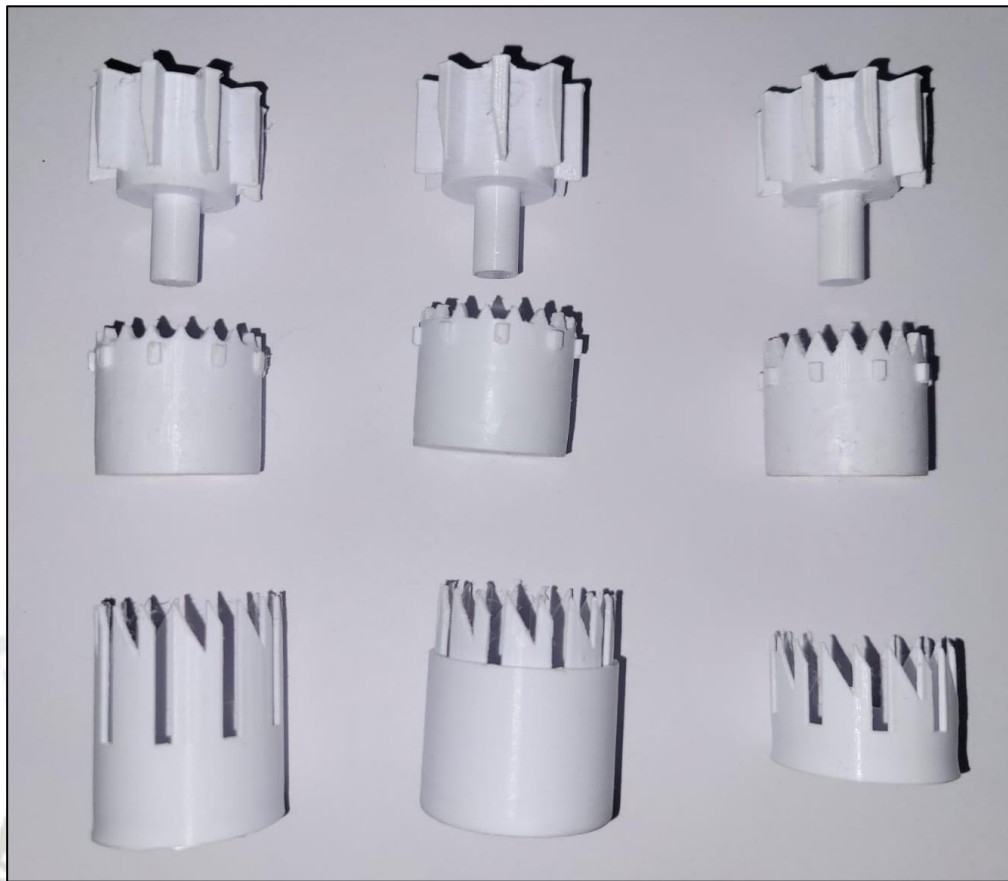


Figura 41. 3 modelos escalados inspirados en el mecanismo de enclavamiento de lapicero separados

Fuente: Elaboración propia

Después de varias iteraciones se observó que el mecanismo funcionaba de manera adecuada, sin embargo, por el método de fabricación seleccionado para este proyecto en la selección de tecnologías, se debería reducir el número de dientes del mecanismo, además de reducir el ángulo de los dientes.

Se empezaron a hacer iteraciones miniatura, con una boquilla de 0.2 mm para obtener una mejor resolución en la impresión. Sin embargo, en las primeras pruebas donde se intentó replicar el modelo escalado a mayor como un modelo miniatura, se presentaron problemas por el tamaño del modelo Figura 42. Se procedió a reducir el número de dientes del mecanismo además de incrementar los ángulos de los mismos. Esta medida mejoró la calidad de la impresión ya que no se presentaba mucha fricción y se desplazaba de manera adecuada el mecanismo.



Figura 42. 3 modelos miniatura inspirados en el mecanismo de enclavamiento del lapicero separados

Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, el mecanismo aún tenía la deficiencia que los dientes del rotor se atascaban con los dientes de la pieza guía interior, a pesar del cambio del ángulo.

Se modificó el modelo para que ahora esté constituido por unos dientes en la parte superior. El electroimán impulsará por la parte inferior a un único elemento móvil. Este será el cuerpo que sostendrá el eje que termina siendo el punto re escribible.

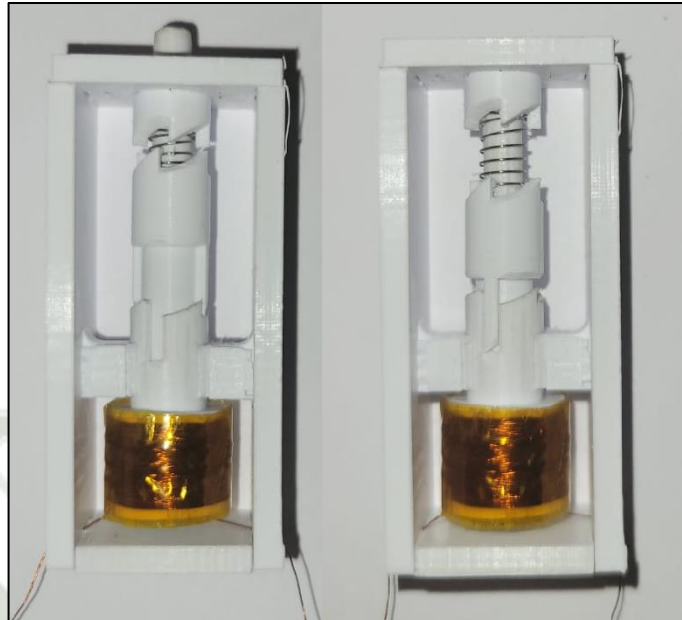


Figura 43. Modelo miniatura con modificaciones, activado y desactivado

Fuente: Elaboración propia

En las Figuras 43 y 44, se aprecian 2 variaciones del modelo miniatura desarrollada. Cada una fue el producto de iteraciones anteriores y modificaciones tanto en grosores de capa de la pieza, resolución de impresión y temperaturas. El modelo que se comportó de mejor manera es el de la Figura 44. El siguiente paso el mecanismo con respecto a la alineación de los 3 ejes de piezas involucradas, porque al no tener una buena alineación y la impresión realizarse por capas, se producía un atasco que el electroimán no podía vencer.

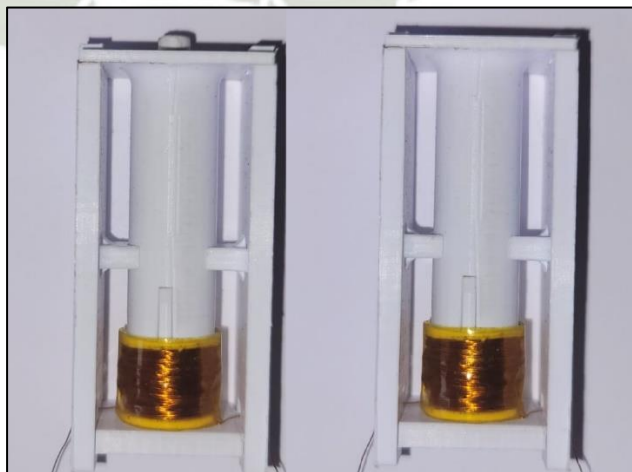


Figura 44. Modelo final de actuador, activado y desactivado

Fuente: Elaboración propia

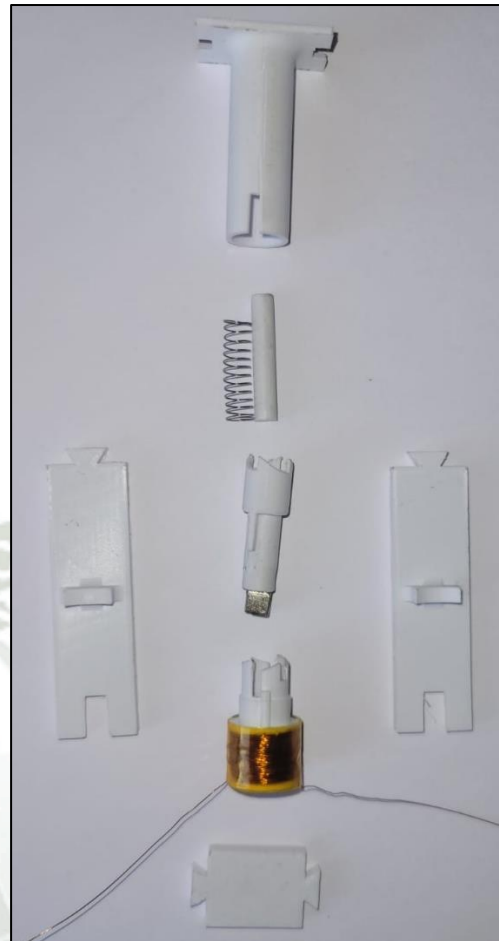


Figura 45. Modelo final de actuador desarmado

Fuente: Elaboración propia

El actuador usa un imán permanente para levantar la pieza móvil. Este imán es un imán de neodimio de 5x5x5 mm con geometría de cubo.

El resorte fue mandado a fabricar en una empresa de la localidad. Con las medidas calculas en la parte de diseño las cuales son:

- Resorte helicoidal simple de compresión con espiras sin trabajo al inicio y final.
- Altura del resorte: 18.5 mm
- Diámetro del resorte: 5 mm
- Número de espiras del resorte: 11
- $K = 3.89 \frac{gf}{mm}$

3.2.2. Implementación del circuito electrónico

Para el desarrollo de la placa electrónica se utilizó el software Eagle de Autodesk. Se consideró en la etapa de diseño que se haría una PCB en FR4 con un ancho de 1 oz por ser el estándar de las empresas de fabricación. Se diseñó una placa de circuito impreso doble cara con los anchos de pista calculados en la etapa de diseño.

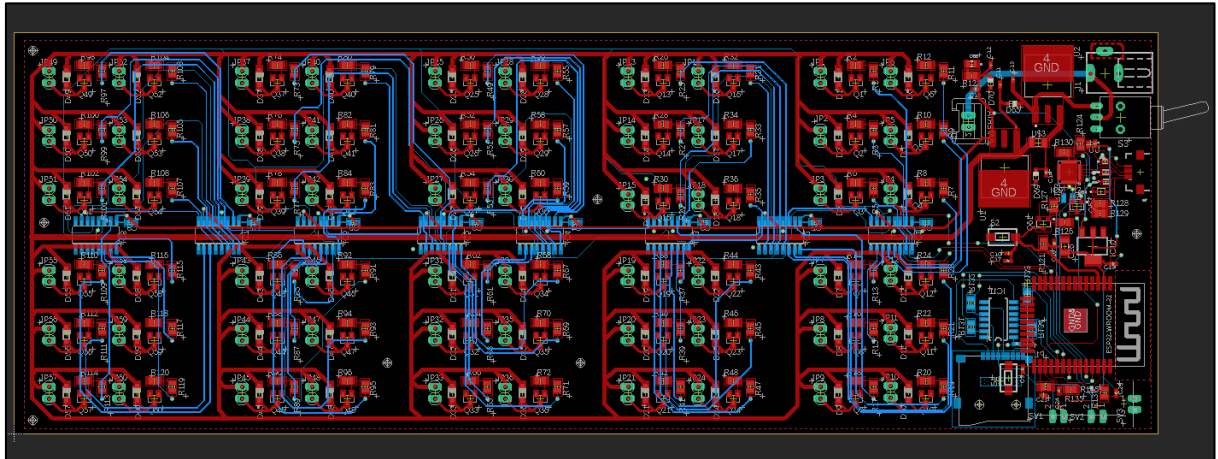


Figura 46. PCB del proyecto

Fuente: Elaboración propia

Dentro del software de diseño se eligieron los paquetes de componentes en SMT a excepción de los espadines para conexión de botones y conexión de la conexión de los actuadores.

Se mandó a fabricar en una empresa extranjera con ensamble de los componentes de la cara superior a excepción del plug de entrada de voltaje, el conector micro USB y el switch de encendido porque la empresa no tenía esos componentes disponibles. En la Figura 48, se aprecia el interruptor que se encontró en el mercado y se usó como reemplazo para el interruptor utilizado en el diseño

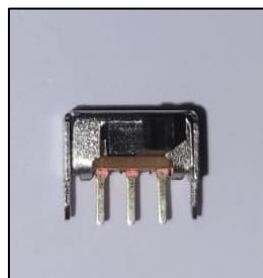


Figura 47. Interruptor conseguido en el mercado nacional

Fuente: Elaboración propia

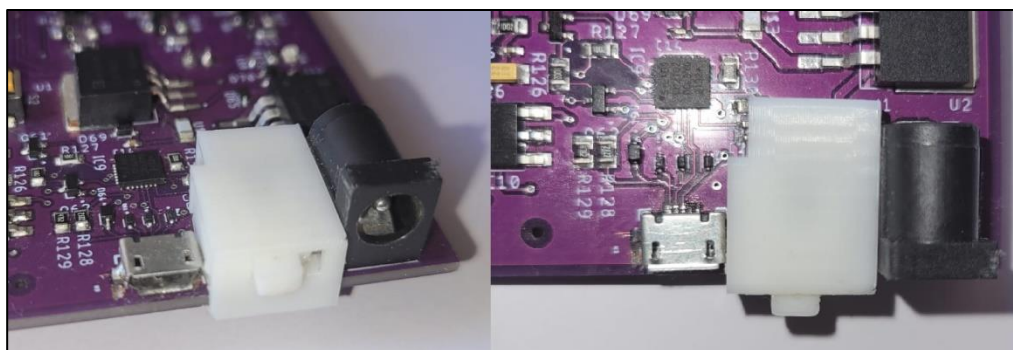


Figura 48. Extensión de interruptor

Fuente: Elaboración propia

Se mandaron a hacer 5 PCB debido a que la empresa de manufactura ofrecía como mínimo la fabricación de 5 PCB.

En las figuras 49 y 50 se fotografió la PCB del proyecto con todos los componentes soldados en ambas caras y se comprobó su funcionamiento. La PCB funcionó como se esperaba.

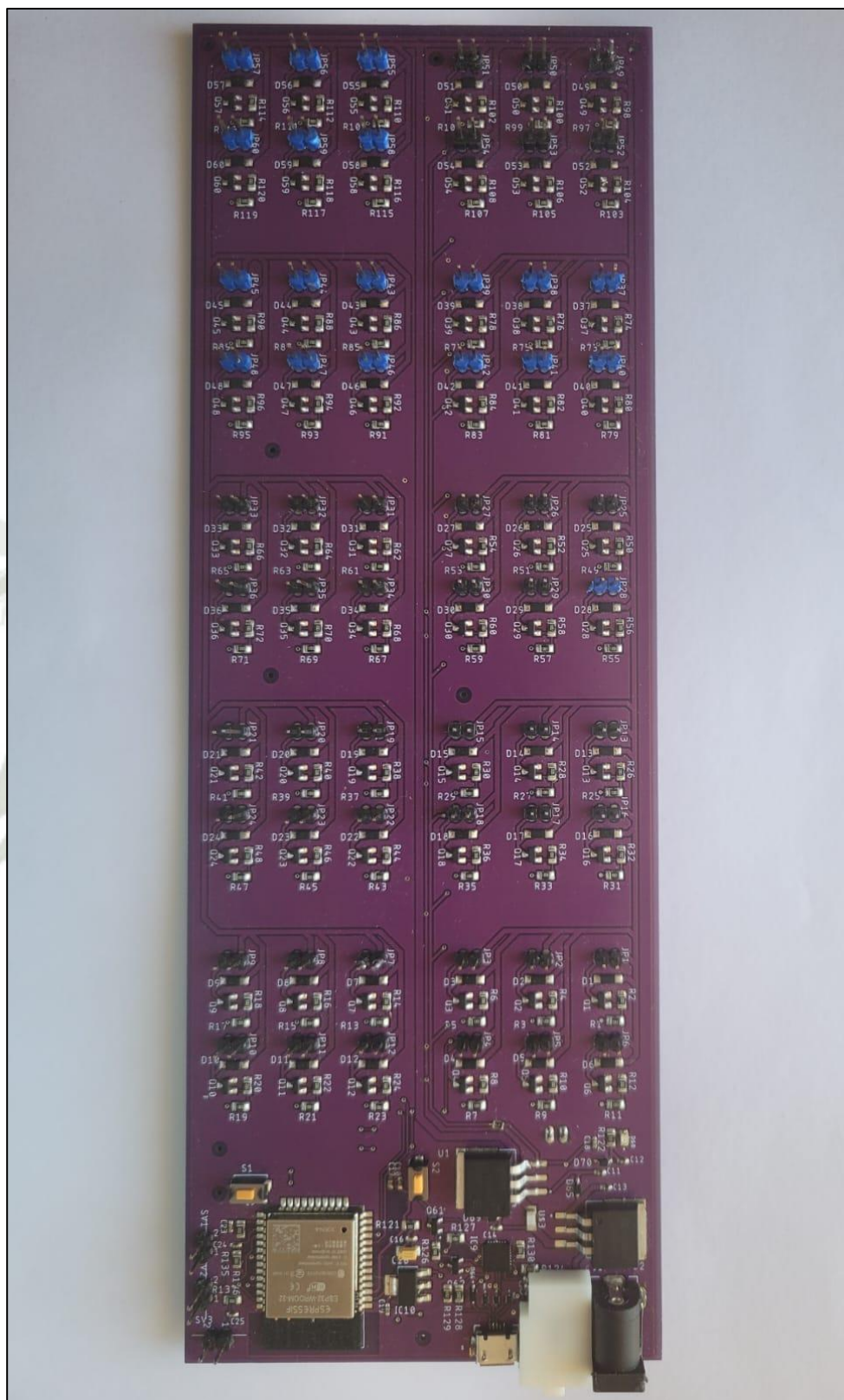


Figura 49. Vista de capa superior PCB con todos los componentes soldados

Fuente: Elaboración propia

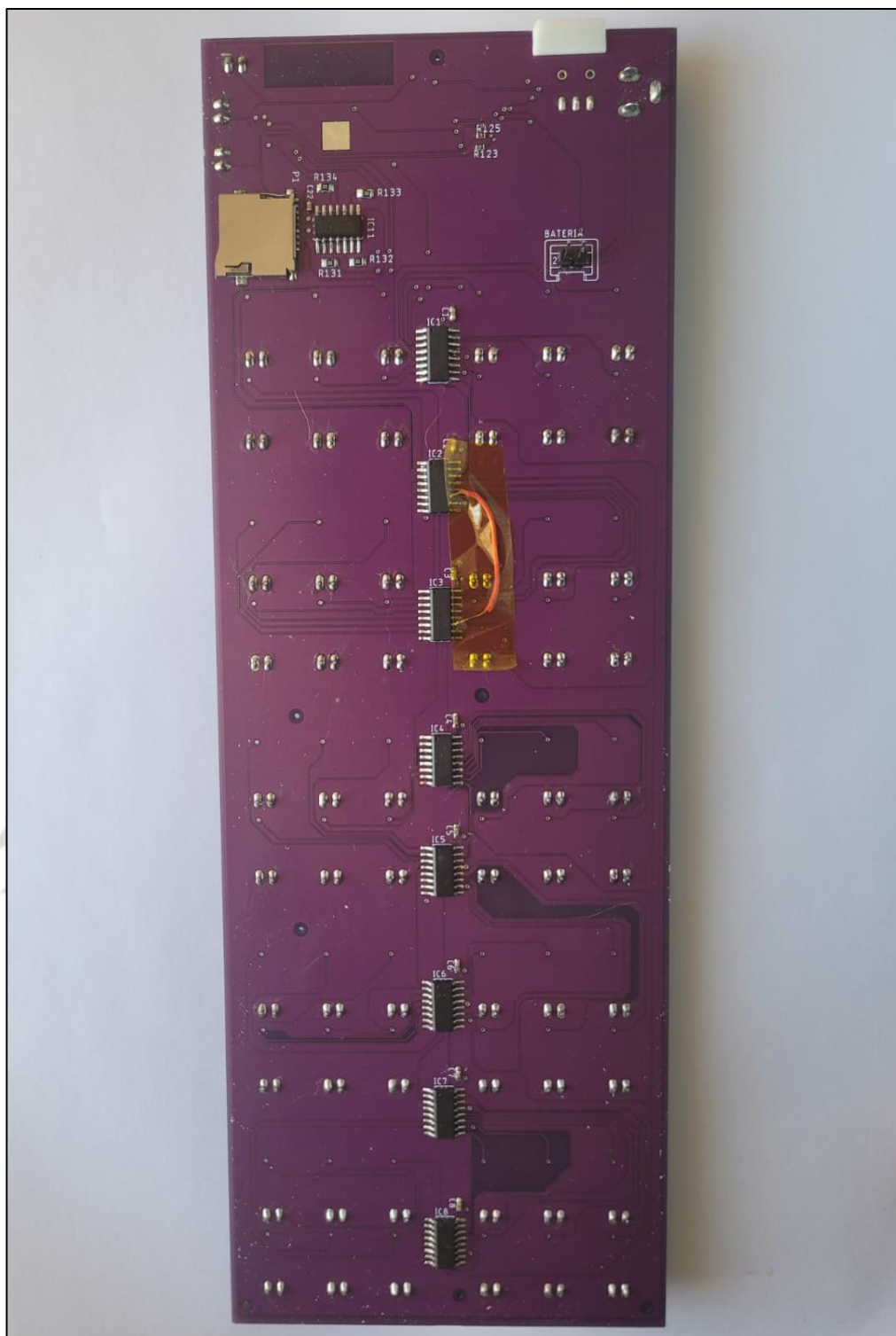


Figura 50. Vista de capa inferior PCB con todos los componentes soldados

Fuente: Elaboración propia

3.2.3. Implementación del software

3.2.3.1. Diagrama de flujo

El diagrama de flujo en la Figura 51 muestra el funcionamiento que se previó para el dispositivo en condiciones normales. Se pasa del modo de vista de libros al modo de lectura de libros. Los botones derecha e izquierda aumentan o disminuyen el contador de títulos o el contador de palabra del documento de texto. Durante la transición entre la vista de títulos y lectura de libro se lee o se escribe los contadores de título y palabra respectivamente.

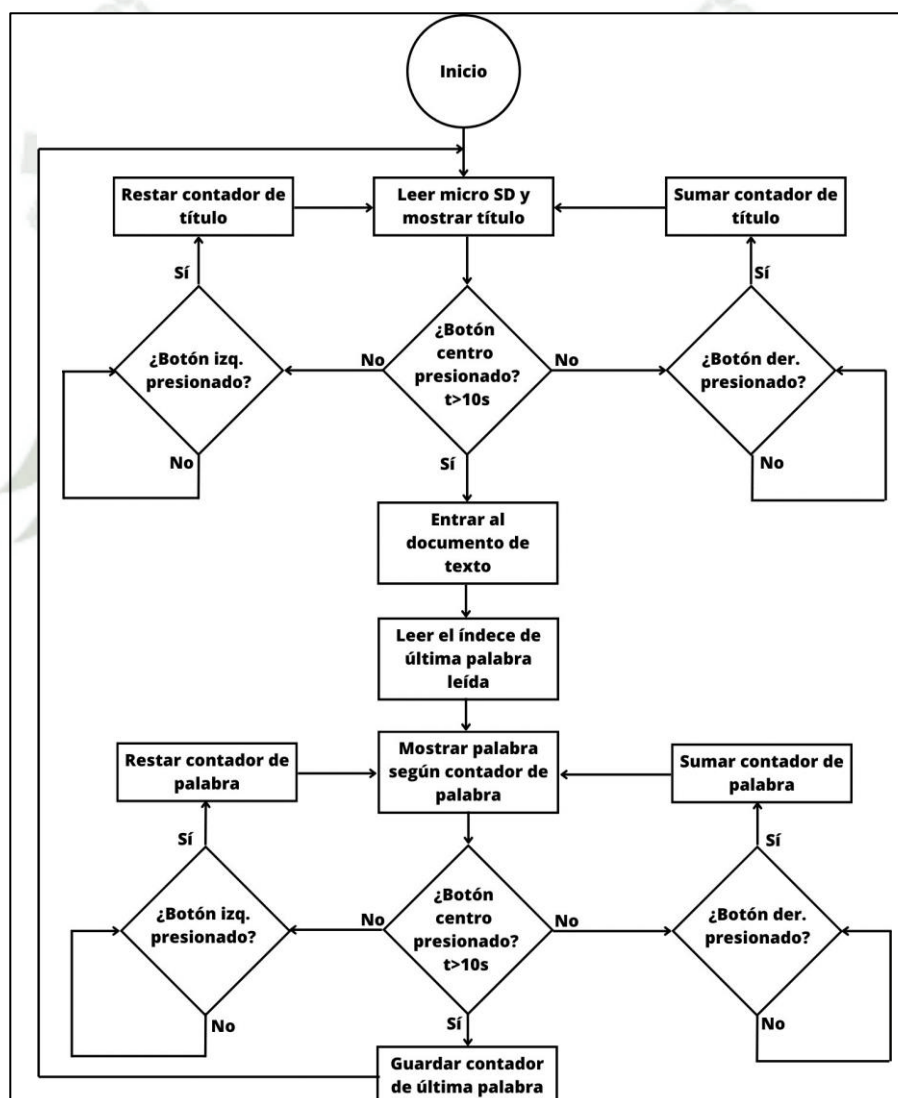


Figura 51. Diagrama de flujo del lector electrónico

Fuente: Elaboración propia

3.2.3.2. Máquina de estados para lectura de botones

En la Figura 52 se muestra la máquina de estados que se implementó para migrar entre estados en el software del dispositivo. Esta máquina de estados permite reutilizar los estados izquierda y derecha que cambian su función con respecto al flag E que permite diferenciar si se encuentra en estado extra (lectura de libro) o en el estado nada (lectura de títulos).

Además, el entre los estados extra y nada determinan cuál es la variable que sumarán o restarán los estados derecha o izquierda respectivamente. Estos estados además modifican el flag E.

Las funciones que se presentan en el diagrama de estados no son los nombres de las funciones finales, pero sirven como idea del comportamiento del software.

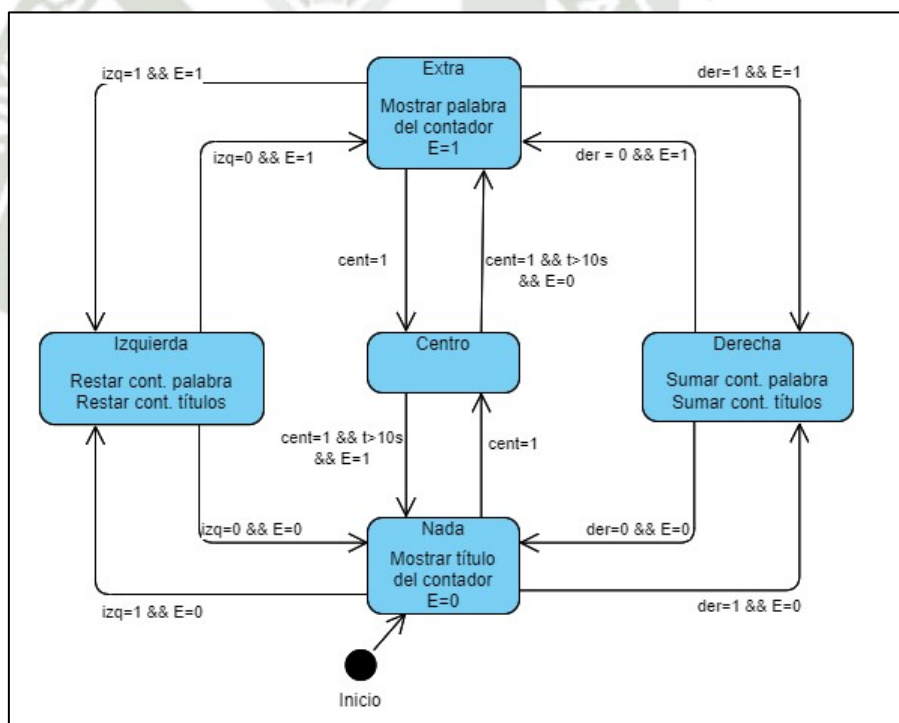


Figura 52. Máquina de estados del dispositivo

Fuente: Elaboración propia

3.2.3.3. Anti rebote por software para lectura de botones

Para solucionar el problema del anti rebote que puede ocasionar la presión del botón, se utiliza una máquina de estados que encuesta sobre el estado del botón y descarta los cambios que se producen en un tiempo menor de 20 ms.

Esto es una solución adicional, ya que en la etapa de diseño del circuito electrónico ya se previó esto con un capacitor. Sin embargo, para una reacción más segura del sistema se implementa este método. Para nuestro caso se le añadió este retardo a las transiciones de estados de izquierda, centro o derecha a cualquier otro estado. En la Figura 53 se puede ver el funcionamiento de la máquina de estados anti rebote. Este comportamiento fue añadido en la máquina de estados del dispositivo en las transiciones que realizan los objetos.

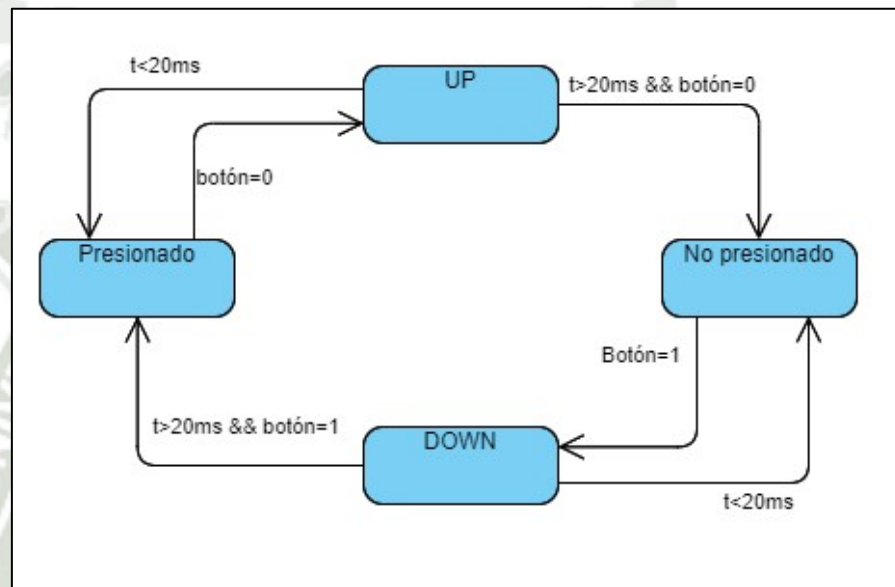


Figura 53. Máquina de estados anti rebote

Fuente: Elaboración propia

3.2.3.4. Sistema operativo FreeRTOS

Con el fin de tener un programa con fácil aceptación a la expansión y con fin de usar el modularidad se usó el sistema operativo FreeRTOS portado para el microcontrolador ESP32. Se programó en la versión de eclipse con el plugin que ofrece Espressif-IDF con la configuración del scheduler del FreeRTOS de 1000Hz.

3.2.3.5. Librerías de ESP32 para Arduino

Además de la HAL que ofrece Espressif en su IDF se utilizaron las librerías de optimizadas para trabajar en Arduino IDE para la conexión con la tarjeta micro SD. Se agregó como componente Figura 54.

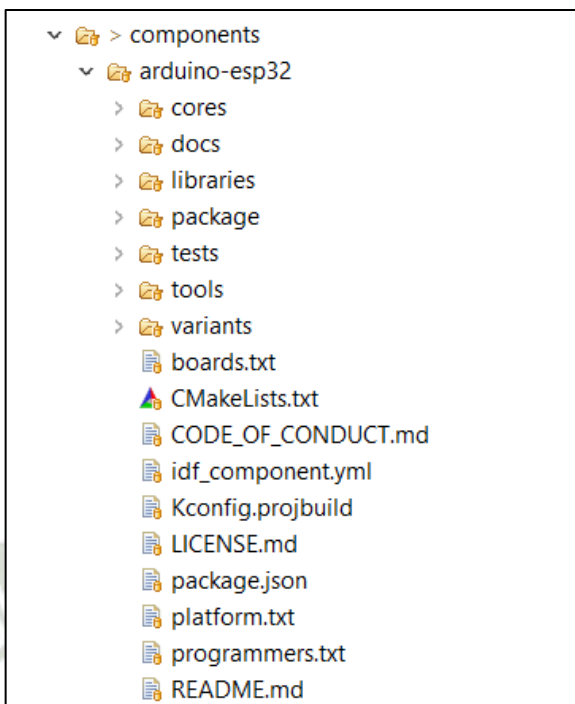


Figura 54. Librería de Arduino como componente

Fuente: Elaboración propia

3.2.3.6. Carpetas del proyecto

De distribuyeron los diversos módulos del software como se ve en la distribución de carpetas de la Figura 55.

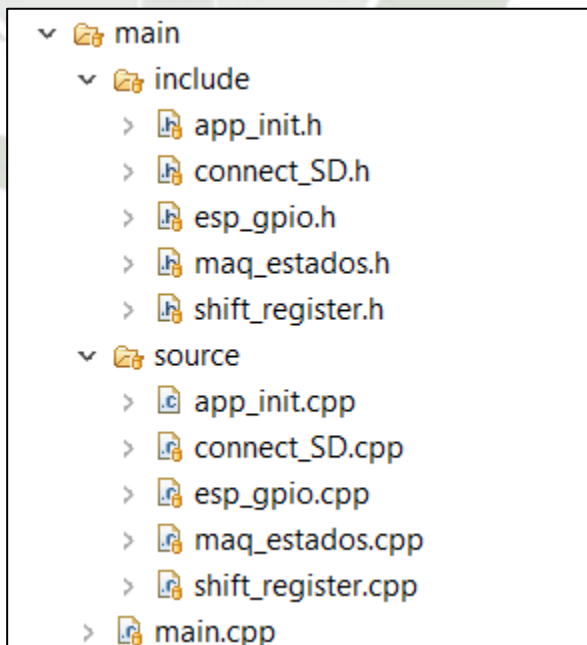


Figura 55. Distribución de drivers

Fuente: Elaboración propia

Las capas abstracción del proyecto quedan organizadas de la manera que se ve en la Figura 56. Se utilizó este método para independizar el hardware de la lógica de la aplicación. Se utilizan las funciones de la HAL de Espressif para por medio de `esp_gpio.h`, `Arduino_esp32.h` y el propio sistema operativo FreeRTOS.

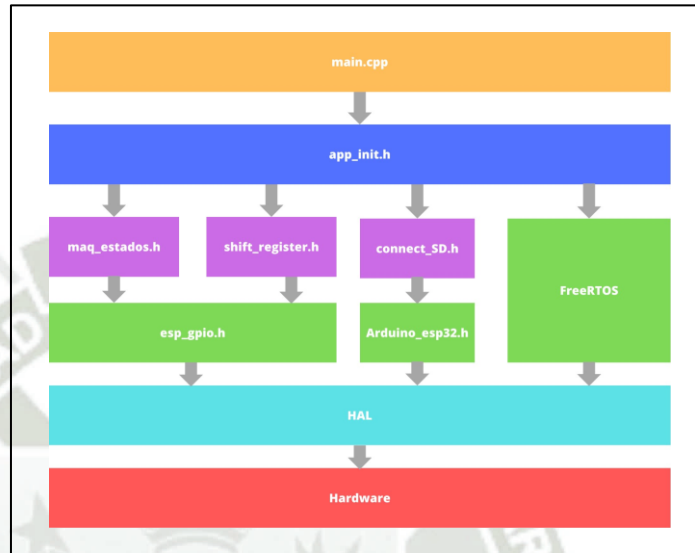


Figura 56. Distribución de drivers

Fuente: Elaboración propia

3.2.3.7. Aplicación de escritorio

Para la comunicación con la PC se desarrolló un aplicativo en el software Visual Studio, usando Forms con el lenguaje C#. Se usa para guardar los libros que se deseen en la tarjeta micro SD. Se coloca en un adaptador a USB, se selecciona el USB que se usará, esto carga los archivos, luego se da doble click en la lista de archivos a subir y se seleccionan los archivos de texto en formato .txt, finalmente se presiona el botón subir y esto copiará los documentos en la micro SD. Además, copia los archivos `Puntlec.txt` y `Backp.txt` para manejar los últimos puntos de lectura de los documentos. En la Figura 58 muestra la ventana de aplicación de usuario de PC.



Figura 57. Aplicación para subir archivos

Fuente: Elaboración propia

3.2.4. Carcasa

Para la manufactura de la carcasa del dispositivo se usó el método de impresión 3D FDM. Se usaron boquilla de 0.2 mm para las partes que necesitan un mejor detalle y otras con boquilla de 0.4 mm los parámetros de impresión se ven en la Figura 58. Se utilizó material PLA+ pálido.

Quality			
Layer Height			0.12 mm
Initial Layer Height			0.12 mm
Line Width			0.22 mm
Wall Line Width			0.22 mm
Walls			
Wall Thickness			0.66 mm
Wall Line Count			3
Horizontal Expansion			0.0 mm
Top/Bottom			
Top/Bottom Thickness			1.32 mm
Top Thickness			1.32 mm
Top Layers	f_x		5
Bottom Thickness			1.32 mm
Bottom Layers	f_x		5
Infill			
Infill Density			20.0 %
Infill Pattern			Cubic
Material			
Printing Temperature	f_x		195.0 °C
Build Plate Temperature			60 °C
Build Plate Temperature Initial Layer			60 °C
Speed			
Print Speed			30.0 mm/s
Infill Speed			30.0 mm/s
Wall Speed			15.0 mm/s
Outer Wall Speed			15.0 mm/s
Inner Wall Speed			15.0 mm/s
Travel			
Cooling			
Enable Print Cooling		<input checked="" type="checkbox"/>	
Fan Speed			100.0 %
Support			
Generate Support		<input checked="" type="checkbox"/>	
Support Structure			Normal
Support Placement			Everywhere
Support Overhang Angle			42.0 °
Support Pattern			Zig Zag
Support Density			20.0 %
Support Interface Pattern			Grid
Build Plate Adhesion			
Build Plate Adhesion Type			Brim

Figura 58. Parámetros de impresión

Fuente: Elaboración propia

Se realizó un postprocesado en las piezas móviles del dispositivo, con limas se dejó lo más lizas las superficies impresas. En la Figura 59 se puede apreciar cómo terminó el dispositivo ensamblado. Se tiene una base en la que se coloca la batería, la misma se inserta en la parte inferior del dispositivo, pero se puede dejar este sin batería si se desea utilizarlo con una fuente externa de 12 VDC.



Figura 59. Vista frontal del lector electrónico

Fuente: Elaboración propia



Figura 60. Base para batería

Fuente: Elaboración propia

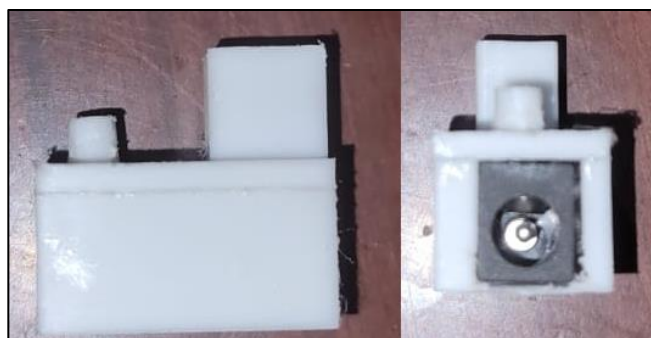
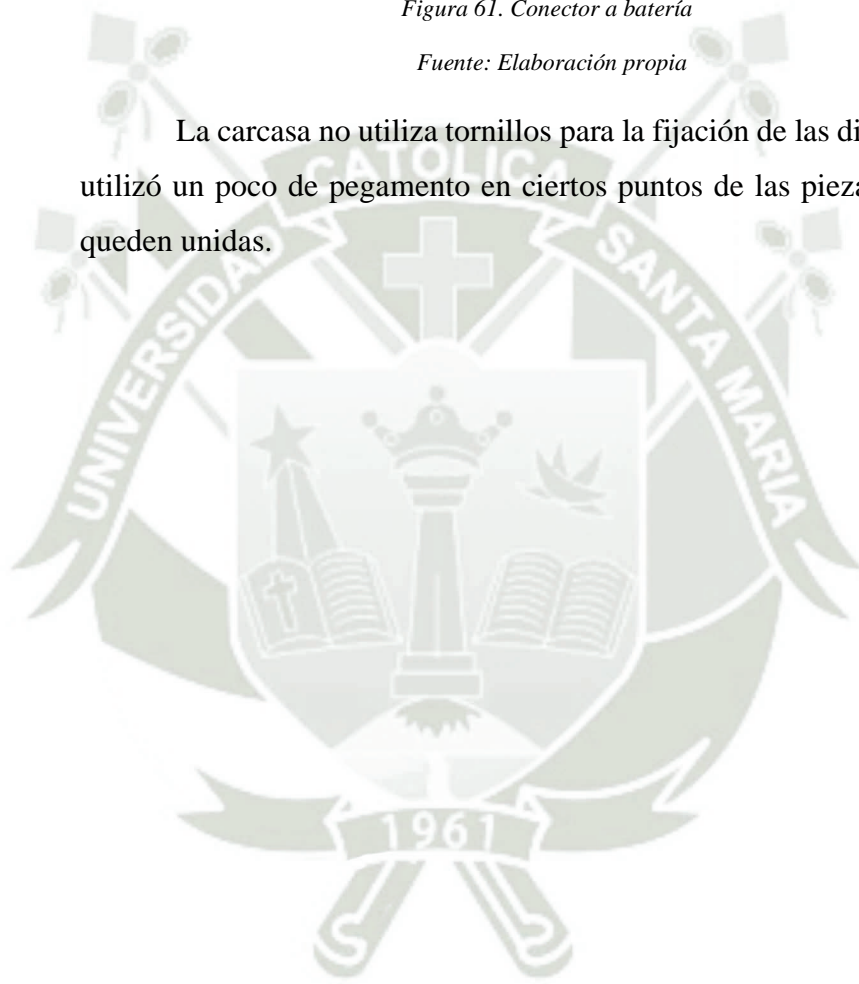


Figura 61. Conector a batería

Fuente: Elaboración propia

La carcasa no utiliza tornillos para la fijación de las distintas piezas. Se utilizó un poco de pegamento en ciertos puntos de las piezas para que estas queden unidas.



Capítulo IV: Pruebas y evaluaciones

Para colocar un archivo de prueba en el dispositivo de lectura se crea el archivo de texto que se ve en la Figura 62.

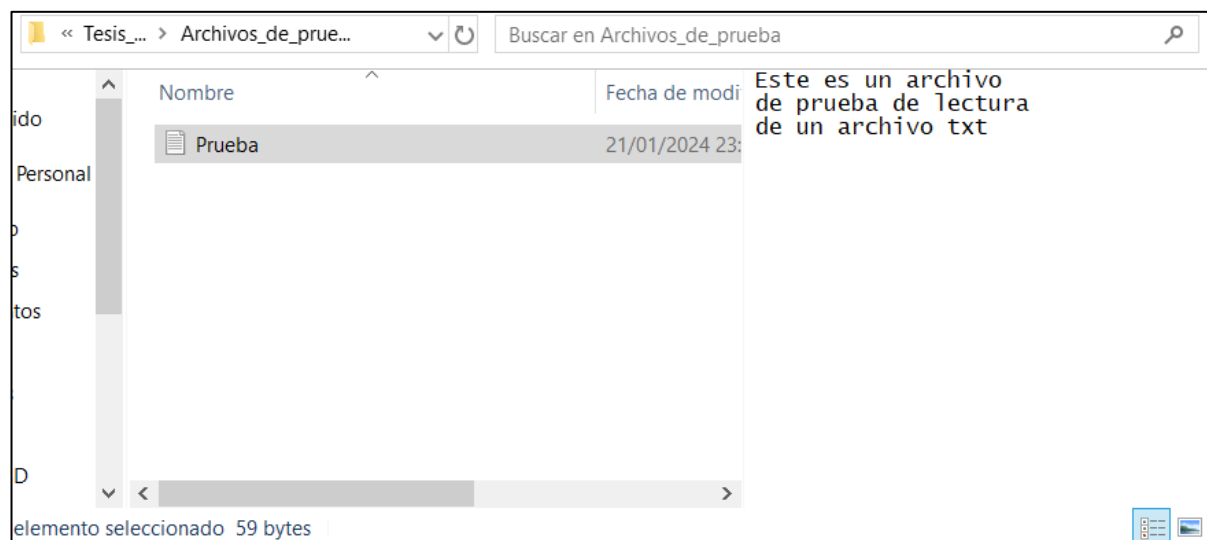


Figura 62. Creación de archivo de texto

Fuente: Elaboración propia

Al abrir el aplicativo de escritorio se selecciona el dispositivo de almacenamiento masivo USB. Inmediatamente se actualiza la lista de documentos que posee la memoria micro SD como se ve en la Figura 63. Se envía el archivo por medio de la aplicación de escritorio a la tarjeta SD, actualizará los archivos “puntec”, que contiene la posición de la última palabra leída de cada documento y el archivo “backp” necesario para el momento de encender el dispositivo. De no tener estos archivos en la memoria micro SD la aplicación los crea y los actualiza. Sale caja de mensaje diciendo que los archivos fueron copiados correctamente en la memoria micro SD y ahora aparecen en el listado de archivos de la memoria como se ve en la Figura 64.



Figura 63. Aplicación de escritorio antes de subir archivos

Fuente: Elaboración propia

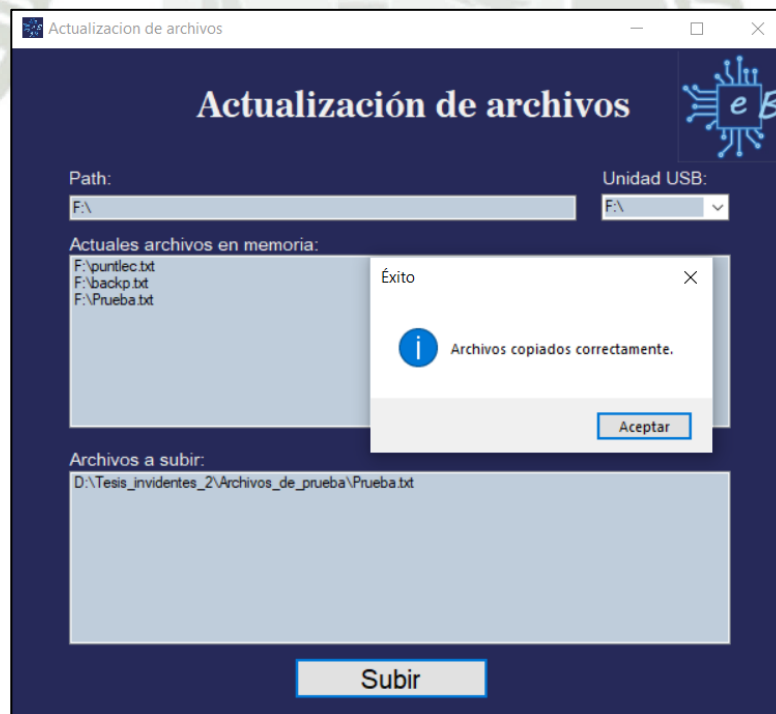


Figura 64. Aplicación de escritorio luego de subir archivos a la micro SD

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 65 se ve que la memoria micro SD recibe los datos de manera correcta y se actualiza el archivo “puntlec” estableciendo como 0 el marcador de última palabra leída del documento de prueba.

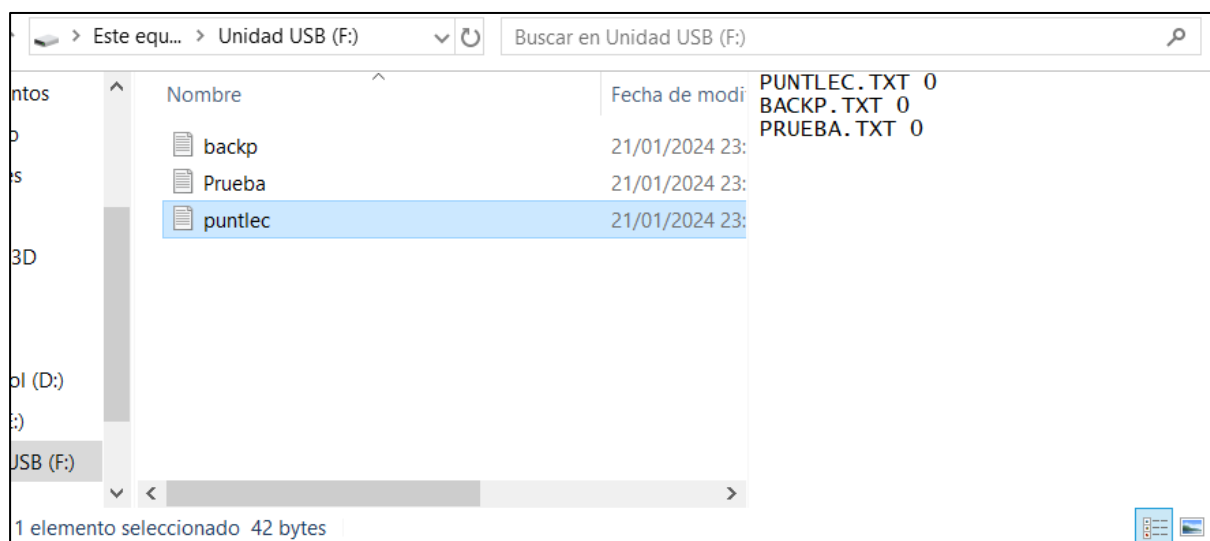


Figura 65. Memoria micro SD con archivo subido

Fuente: Elaboración propia

Se retiraron los resortes debido a que no se pudo conseguir un alambre de 0.1mm. Al encender el dispositivo este muestra los títulos de los documentos que posee la memoria micro SD, en la Figura 66 se navega de manera correcta con los botones de navegación y al momento de entrar en el archivo de texto.



Figura 66. Dispositivo de lectura mostrando título

Fuente: Elaboración propia

La prueba anteriormente documentada demuestra el correcto funcionamiento del prototipo de lectura, además del aplicativo de escritorio que permite subir archivos de texto en la memoria micro SD.

Respecto al rendimiento del dispositivo, en la Figura 67 se muestra el consumo del dispositivo en estado de reposo, que es fijo de 60 mA.



Figura 67. Consumo de corriente del dispositivo en reposo

Fuente: Elaboración propia

Las mediciones de corriente al momento de utilizar el dispositivo presentaron un consumo promedio de 0.4 A mientras se realizaron las conmutaciones de los puntos re escribibles, oscilando entre un mínimo de 0.4 A hasta un máximo de 0.98 A. En la Figura 68 se muestra la lectura de 0.41 A al momento de conmutar los puntos re escribibles.

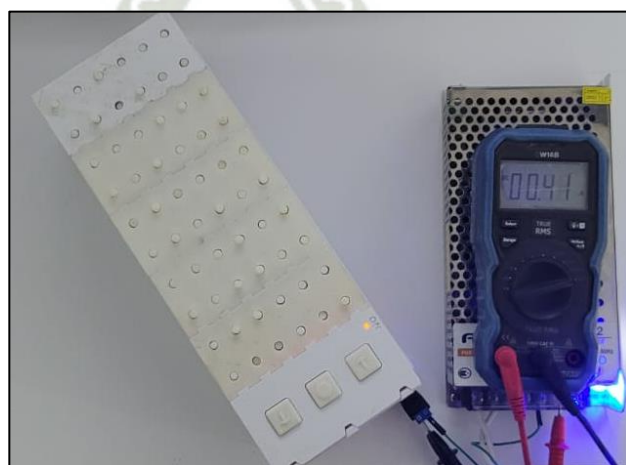


Figura 68. Consumo de corriente del dispositivo accionando puntos re escribibles

Fuente: Elaboración propia

La Figura 69 muestra una captura del análisis de las señales que son enviadas a los shift register. En esta prueba se evidencia que se realizan 6 capturas de señal mediante 6 señales de clock, que toman los valores de data en su flanco de subida.

Además, podemos apreciar que sólo se manda como máximo 1 valor activo por cada 6 puntos re escribibles, lo que demuestra que se realiza el barrido de puntos para mostrar las palabras. También la señal de strobe que es la que realiza el cambio en las salidas de los shift register se manda una vez se hallan tomado todos los datos necesarios para cambiar de palabra dejando un tiempo de 60 ms para que realizar el cambio.

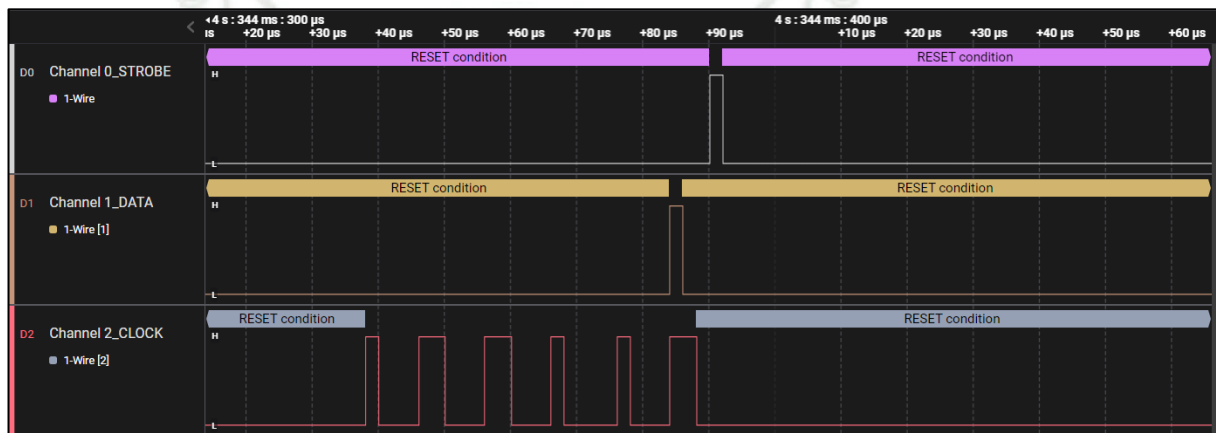


Figura 69. Señales de strobe, data y clock de los shift register

Fuente: Elaboración propia

Para enviar un libro al dispositivo, se siguió el mismo procedimiento que se usó para enviar el archivo de texto de prueba, se descargó el libro en formato pdf de la página “Alibrate” (Alibrate, 2020), donde se seleccionó un título que se encuentre libre de derechos de autor. Una vez descargado se copió y pegó todo el documento de texto en un archivo de texto de extensión txt. La figura 70 muestra la pantalla de la aplicación de escritorio que se usó para subir el documento de texto conteniendo el libro al dispositivo de lectura.



Figura 70. Aplicativo para subir el libro

Fuente: Elaboración propia

El dispositivo mostró el título del título de manera correcta, activando los electroimanes para que se muestre en Braille el nombre del nuevo documento. Además, como se puede ver en la Figura 71 se mandan datos por medio de conexión serial UART a la terminal para hacer un seguimiento de que el dispositivo funciona de manera correcta. El mensaje “Hello mundo!” Es enviado a la terminal cada 5 segundos por medio de la tarea llamada vhello_task para verificar que el funcionamiento del dispositivo es el correcto y que no está trabado en alguna parte del código y que el sistema operativo no haya detectado por medio del watchdog. La tarea de funcionamiento es la tarea vMAQ que controla el dispositivo por medio de cambios de la máquina de estados utilizada en el proceso de diseño del software. También se envía por medio del puerto serial mensajes como el botón que fue presionado para verificar que el prototipo está ejecutando las funciones correspondientes.

```

Hello mundoo!presionado_derecha
nada
LISTDIR.....
Listing directory: /
                                FILE: TIERRA~1.TXT8473698282T
I
E
R
R
llego antes de
Hello mundoo!
Hello mundoo!

```

Figura 71. Mensajes enviados por UART

Fuente: Elaboración propia

La instalación de la aplicación de escritorio se realiza por medio de un archivo comprimido que cuenta con los archivos de la Figura 72. Se debe usar el ejecutable del instalador y finalmente se tendrá el programa de la Figura 73.

Nombre	Tamaño	Comprimido	Tipo	Modificado	CRC32
..			Carpeta de archivos		
Application Files	842,510	278,055	Carpeta de archivos	22/01/2024 18:...	
e-Braille.application	5,640	2,253	Application Manifest	22/01/2024 18:...	47A0AD35
setup.exe	555,488	207,859	Aplicación	22/01/2024 18:...	7ED580CB

Figura 72. Archivos para instalación de aplicación de escritorio

Fuente: Elaboración propia

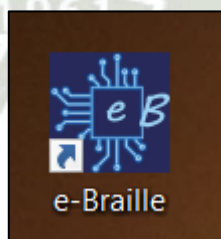


Figura 73. Icono de la aplicación de escritorio

Fuente: Elaboración propia

Se realizó una prueba de lectura con un libro libre de derechos de autor “De la Tierra a la Luna” del autor francés Julio Verne. Se probó con un total de 100 palabras. En la tabla 14 se muestran los errores obtenidos tomando en cuenta cuatro criterios de evaluación del error.

Tabla 14.

Puntos re escribibles errados

Fuente: Elaboración propia

N° palabra	Palabra	N° caracteres	N° puntos errados	Puntos de errados / posibles errores de palabra	Puntos errados / número total de puntos del dispositivo	Puntos errados / número de caracteres	Puntos errados / número de caracteres máximo display
1	De	2	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2	la	2	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
3	Tierra	6	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
4	a	1	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
5	la	2	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
6	Luna	4	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
7	Julio	5	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
8	Verne	5	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
9	I	1	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
10	El	2	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
11	Gun-Club	8	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
12	Durante	7	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
13	la	2	1	8.33%	1.67%	50.00%	10.00%
14	guerra	6	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
15	de	2	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
16	secesión	8	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
17	de	2	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
18	los	3	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
19	Estados	7	1	2.38%	1.67%	14.29%	10.00%
20	Unidos	6	1	2.78%	1.67%	16.67%	10.00%
21	se	2	1	8.33%	1.67%	50.00%	10.00%
22	estableció	10	2	3.33%	3.33%	20.00%	20.00%
23	en	2	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
24	Baltimore	9	2	3.70%	3.33%	22.22%	20.00%
25	ciudad	6	3	8.33%	5.00%	50.00%	30.00%
26	del	3	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
27	estado	6	2	5.56%	3.33%	33.33%	20.00%
28	de	2	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
29	Mayrland	8	2	4.17%	3.33%	25.00%	20.00%
30	una	4	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
31	nueva	5	1	3.33%	1.67%	20.00%	10.00%
32	sociedad	8	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
33	de	2	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
34	mucha	5	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
35	influencia	10	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
36	Conocida	8	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
37	es	2	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
38	la	2	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

39	energía	7	1	2.38%	1.67%	14.29%	10.00%
40	con	3	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
41	que	4	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
42	el	2	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
43	instinto	8	2	4.17%	3.33%	25.00%	20.00%
44	militar	7	2	4.76%	3.33%	28.57%	20.00%
45	se	2	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
46	desenvolvió	11	1	1.52%	1.67%	9.09%	10.00%
47	en	3	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
48	aquel	5	1	3.33%	1.67%	20.00%	10.00%
49	pueblo	6	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
50	de	2	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
51	armadores	9	4	7.41%	6.67%	44.44%	40.00%
52	mercaderes	10	1	1.67%	1.67%	10.00%	10.00%
53	y	1	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
54	fabricantes	11	1	1.52%	1.67%	9.09%	10.00%
55	simples	7	2	4.76%	3.33%	28.57%	20.00%
56	comerciantes	12	1	1.39%	1.67%	8.33%	10.00%
57	y	2	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
58	tenderos	8	3	6.25%	5.00%	37.50%	30.00%
59	abandonaron	11	1	1.52%	1.67%	9.09%	10.00%
60	su	2	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
61	despacho	8	1	2.08%	1.67%	12.50%	10.00%
62	y	1	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
63	su	2	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
64	mostrador	9	1	1.85%	1.67%	11.11%	10.00%
65	para	4	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
66	improvisarse	12	1	1.39%	1.67%	8.33%	10.00%
67	capitanes	9	2	3.70%	3.33%	22.22%	20.00%
68	coroneles	9	1	1.85%	1.67%	11.11%	10.00%
69	y	2	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
70	hasta	5	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
71	generales	9	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
72	sin	3	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
73	haber	5	1	3.33%	1.67%	20.00%	10.00%
74	visto	5	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
75	las	3	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
76	aulas	5	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
77	de	2	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
78	west	4	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
79	point	5	2	6.67%	3.33%	40.00%	20.00%
80	y	1	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
81	no	2	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
82	tardaron	8	3	6.25%	5.00%	37.50%	30.00%
83	en	2	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
84	rivalizar	9	2	3.70%	3.33%	22.22%	20.00%
85	dignamente	10	3	5.00%	5.00%	30.00%	30.00%
86	en	2	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

87	el	2	1	8.33%	1.67%	50.00%	10.00%
88	arte	4	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
89	de	2	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
90	la	2	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
91	guerra	6	1	2.78%	1.67%	16.67%	10.00%
92	con	3	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
93	sus	3	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
94	colegas	7	1	2.38%	1.67%	14.29%	10.00%
95	del	3	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
96	antiguo	7	2	4.76%	3.33%	28.57%	20.00%
97	continente	10	2	3.33%	3.33%	20.00%	20.00%
98	alcanzando	10	1	1.67%	1.67%	10.00%	10.00%
99	victorias	9	1	1.85%	1.67%	11.11%	10.00%
100	lo	2	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

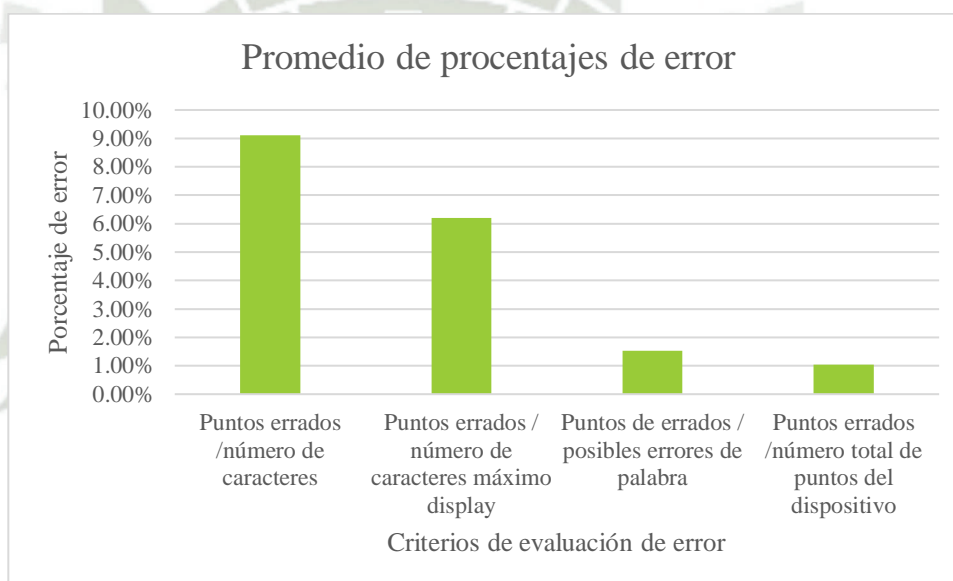


Figura 74. Promedio de porcentajes de error

Fuente: Elaboración propia

En la figura 74 se muestra que el error promedio máximo alcanzado es del 9.11% tomando el criterio de puntos errados / número de caracteres de palabra. Por otro lado, tomando el criterio de puntos errados / número total de puntos del dispositivo se obtiene un error del 1.03% para la muestra de 100 palabras de un libro.

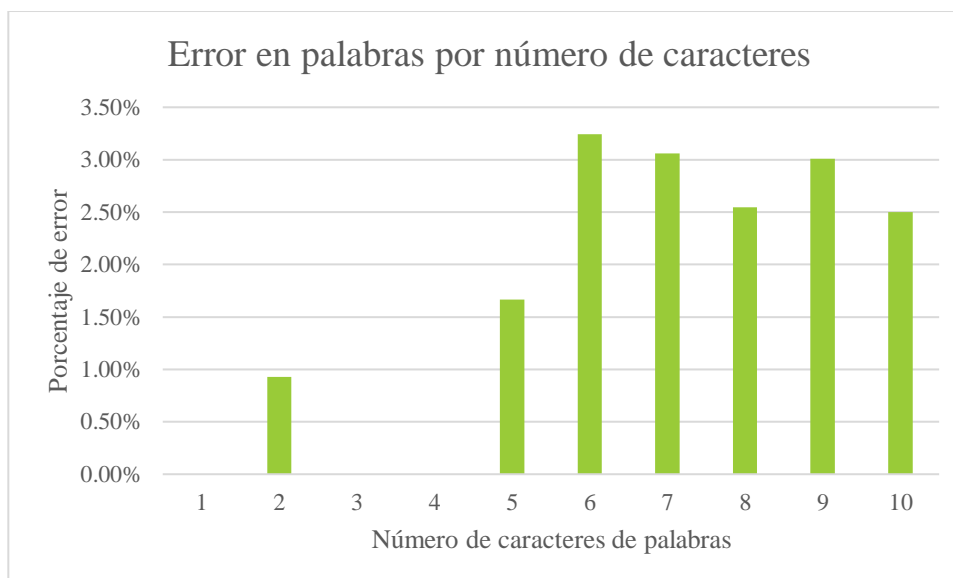


Figura 75. Porcentaje de error promedio por número de caracteres de palabras

Fuente: Elaboración propia

El la Figura 75 se obtuvo el resultado de promediar el error obtenido por con el criterio de puntos errados/posibles errores de la palabra. Las palabras con 1,3 y 4 caracteres dentro de la muestra de 100 palabras utilizada, obtuvieron un error del 0%. Las palabras con mayor porcentaje de error son las palabras con 6 caracteres teniendo un error promedio de 3.24%. Además, se nota una tendencia a obtener un error de al menos 2.5% en palabras de más de 6 caracteres.

Terminado el prototipo, se realizaron pruebas y encuestas a usuarios con discapacidad visual. Los usuarios fueron entrevistados en el Centro de Rehabilitación para Ciegos Adultos (CERCIA), centro de estudios dedicado a la enseñanza de personas que presentan discapacidad visual desde nacimiento o en la alguna etapa de la vida por causa de algún accidente o enfermedad. El centro cuenta con una biblioteca de libros en formato físico impresos con caracteres del Código Braille que pueden solicitar los alumnos. Además del CERCIA se entrevistó a algunos usuarios que se dedican a trabajar como masajistas en centros para masajes proporcionados por personas invidentes en la avenida Goyeneche y en la calle Don Bosco del centro de la ciudad de Arequipa.

El modelo de la entrevista de usuario que se tomó se encuentra en el Anexo 2.1. del documento. Se dividieron las pruebas en 2 secciones, la primera parte dedicada a conocer mejor el contexto vivencial que afronta el usuario y que tiene una consecuencia relevante para la investigación y una segunda parte dedicada a conocer las opiniones y calificaciones que los

usuarios tienen respecto al dispositivo una vez habiéndolo usado durante un tiempo de 15 min aproximadamente, leyendo archivos de prueba y navegando a través de su interfaz.

Las encuestas se realizaron a un total de 5 usuarios que probaron el dispositivo y calificaron su experiencia con el mismo, así como dar opiniones sobre posibles aspectos a mejorar.

En la figura 76 se representa el porcentaje de encuestados dependiendo del tiempo que presentan su discapacidad visual. El 25% de los encuestados desarrolló su discapacidad visual en un promedio de edad desde los 5 y 12 años, el 75% de los encuestados desarrolló su discapacidad visual desde el nacimiento y ninguno de los encuestados desarrolló su discapacidad visual entre los 13 años de edad a más. El mayor número de encuestados presentó su discapacidad desde nacimiento, por lo que tienen que afrontar durante toda su vida la discapacidad y adaptarse a realizar sus actividades diarias con este problema. Además, este dato sirve para tener en cuenta que la mayor cantidad de usuarios potenciales tiene una percepción del mundo y diversos objetos adaptada a su discapacidad.

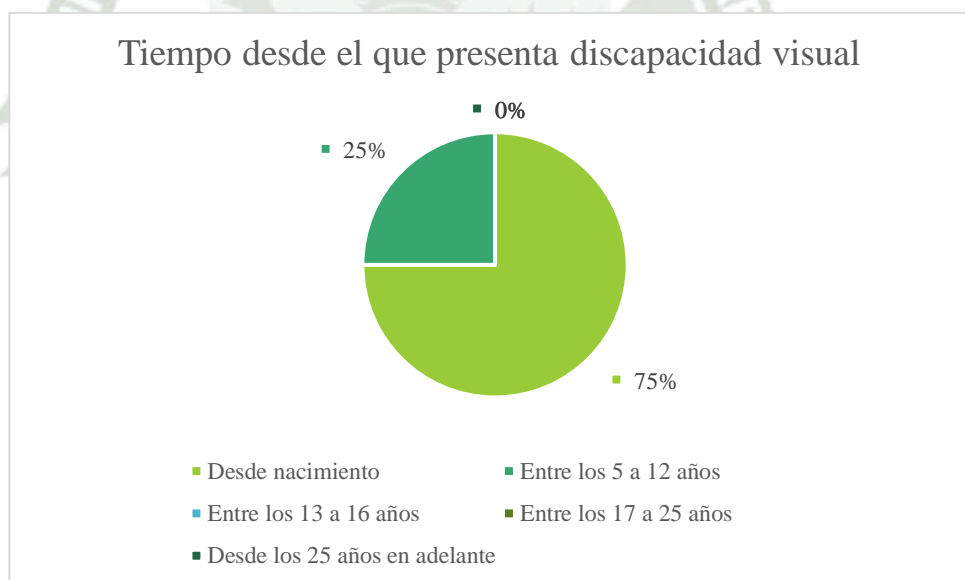


Figura 76. Tiempo desde el que el usuario presenta discapacidad visual

Fuente: Elaboración propia

En la figura 77 se representa el porcentaje de encuestados con discapacidad visual, agrupados de acuerdo con el máximo grado de estudios académicos alcanzado. El 25% de los encuestados alcanzó el grado de magister, el 25% de los encuestados alcanzó a terminar una carrera en el instituto técnico, el 50% de los encuestados alcanzó como máximo grado de estudios a terminar la educación secundaria y ninguno de los encuestados alcanzó como

máximo grado de estudios académicos la educación secundaria o culminó estudios de doctorado.

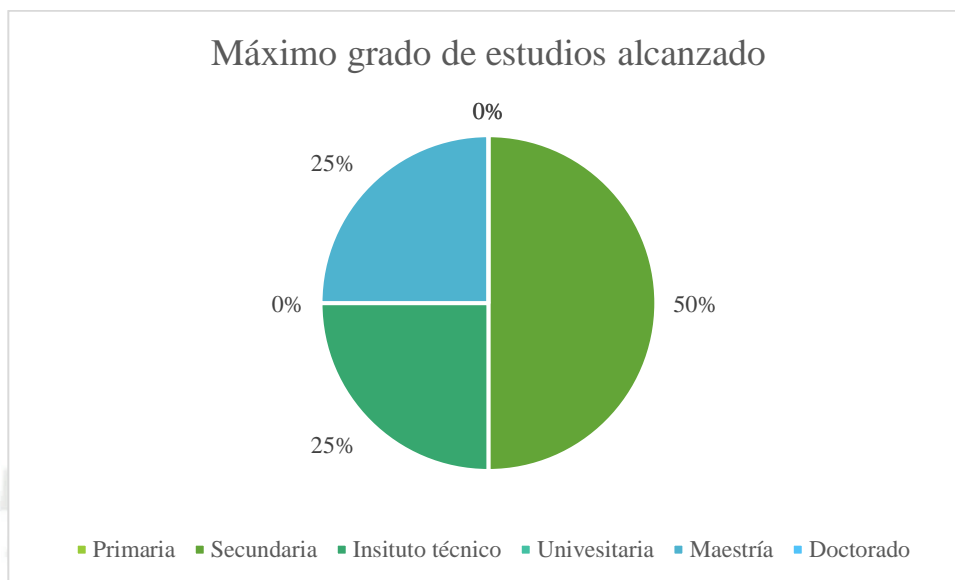


Figura 77. Máximo grado de estudios alcanzado por los encuestados con discapacidad visual

Fuente: Elaboración propia

En la figura 78 se representa la calificación que los usuarios dieron a la facilidad de acceso a la información para poder realizar sus estudios siendo el número 1 correspondiente al grado de dificultad máximo y el número 5 el número de dificultad mínimo para acceder a la información. El 25% calificó con un número 3, el 25% calificó con número 4, el 50% calificó con un número 5 y ningún usuario encuestado calificó con 1 o 2 el acceso a información para sus estudios. Los encuestados no presentaron mucha dificultad para poder desarrollar sus estudios ya que sus lecciones les ofrecían la información necesaria para seguir las clases que llevaban. Además, algunos usuarios acotaron que, para poder tener una buena comprensión de las clases, estas debían de darse en centros especializados para personas con discapacidad visual, ya que de no ser el caso no se podía se podía seguir las clases con normalidad.

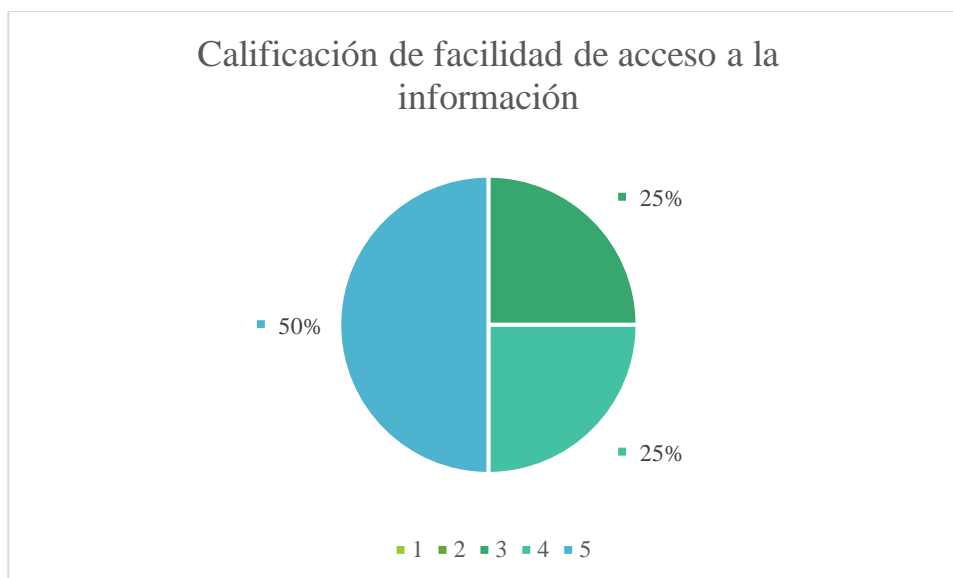


Figura 78. Facilidad de acceso a la información para estudiar

Fuente: Elaboración propia

En la figura 79 se representaron las calificaciones según la dificultad de uso que los usuarios dieron a las fuentes a las recurren cuando desean realizar investigación sobre algún tema particular, siendo la calificación de 1 el número que representa mayor dificultad al momento de hacer uso de la fuente y el número 5 representando un bajo nivel de dificultad de uso de la fuente de información. El 25% de los usuarios encuestados dieron una calificación de 1, otro 25% dio una calificación de 5, el 50% de los encuestado dio una calificación de 4 y nadie dio una calificación de 2 o 3. Los usuarios comentaron las fuentes a las que recurrían, siendo la más usada internet, con ayuda del buscador Google. Para buscar la información debe hacer uso de equipos que puedan leer en voz alta la información. Además, se puede destacar que no se hacía uso de portales especializados para la obtención de información. Comentaron también que el acceso a la información escrita es difícil en los medios físicos, ya que no todos los libros con información especializada se encuentran en código Braille, además que es dificultoso transportarse hasta una biblioteca que disponga de los libros, que también tienen un peso considerable al momento de ser transportado por el usuario.

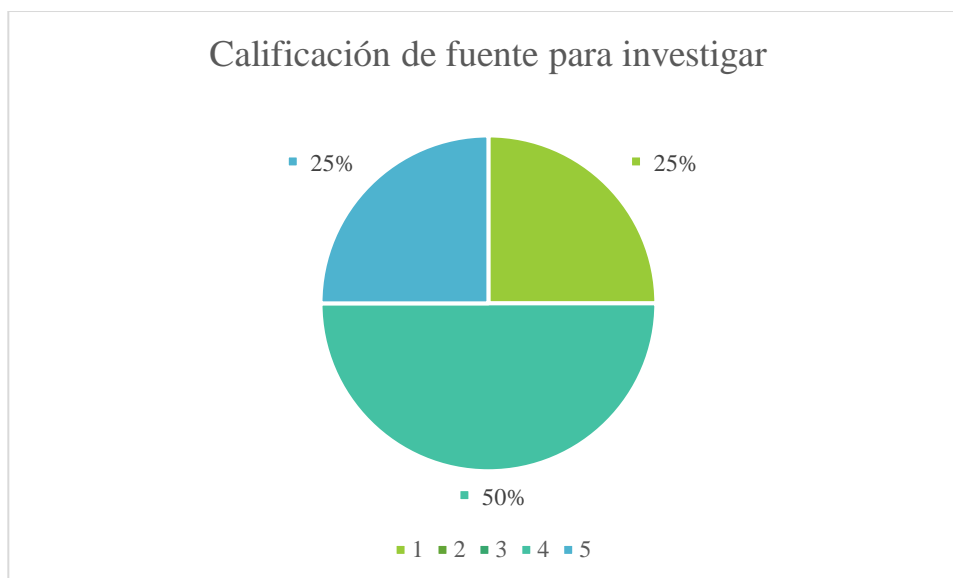


Figura 79. Calificación para fuentes de investigación de información

Fuente: Elaboración propia

En la figura 80 se representa la calificación según la necesidad de ayuda que tienen los usuarios para realizar sus actividades diarias, representando la calificación de 1 que no necesitan ayuda para realizar sus actividades y 5 representando que necesitan mucha ayuda para realizar sus actividades diarias. El 100% de los encuestados calificó con el número 1 la necesidad de ayuda para realizar sus actividades diarias. Los usuarios comentaron que no tienen dificultad para desenvolverse en su día a día. Sin embargo, destacaron y coincidieron en esta afirmación, que sólo presentan dificultad para el transporte a través de la ciudad. Afirmaron que la ciudad de Arequipa cuenta con suficiente señalización en calles y avenidas para su desplazamiento. Además, dijeron que no se sienten seguros al cruzar las calles por no saber si el semáforo les permite cruzar y no confían en que los carros vayan a parar cuando les corresponde cruzar. Por todo esto, indicaron que necesitan siempre de ayuda para poder movilizarse desde sus hogares a sus centros de estudios o de trabajo.

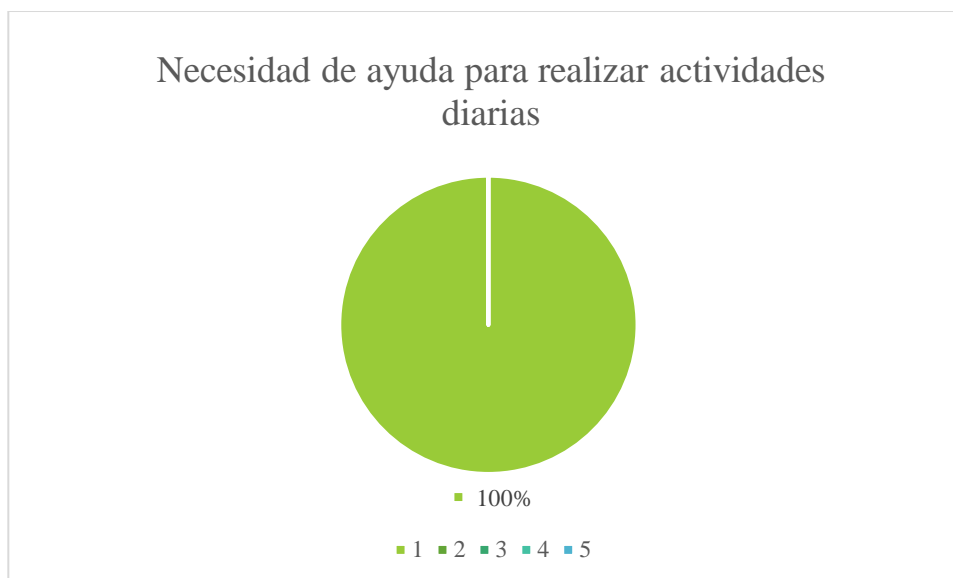


Figura 80. Necesidad de ayuda para realizar sus actividades diarias

Fuente: Elaboración propia

En la segunda parte se dio el dispositivo a los usuarios para que puedan utilizarlo y leer los documentos de prueba que este tenía cargado. Después de probado el dispositivo se les pidió que calificaran su experiencia de usuario.

En la figura 81, se representa la calificación según la satisfacción en la lectura de los puntos re escribibles del dispositivo, siendo 1 la satisfacción mínima y 5 la satisfacción máxima del usuario. El 20% dio una calificación de 3, otro 20% dio una calificación de 5 y el 60% dio una calificación de 4. Todos los usuarios pudieron leer los textos que el dispositivo representaba con éxito. La calificación varia porque comentaron que los puntos re escribibles se encontraban muy separados en comparación en como estos se encuentran en un libro en Braille en papel, a los que ellos ya están acostumbrados. Dijeron que a pesar de poder leer y entender el texto, gustaría que se redujera la separación. No obstante, cabe destacar el comentario de una profesora que indicó que para la enseñanza de alumnos que no hayan nacido con discapacidad visual, esta separación sería beneficiosa, ya que estos alumnos no tienen la sensibilidad del tacto en los dedos lo suficientemente afinada para reconocer los caracteres de un libro Braille tradicional.

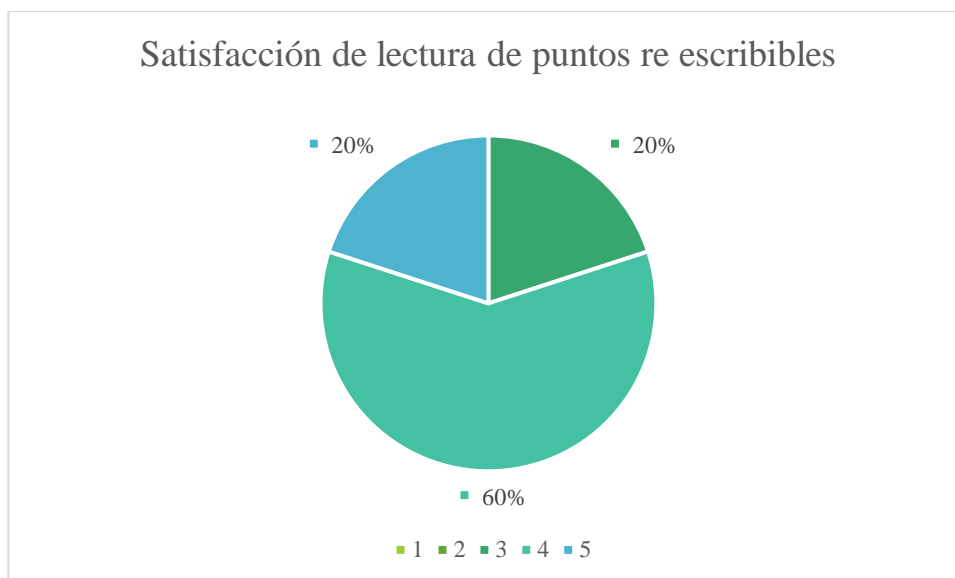


Figura 81. Satisfacción de lectura de puntos re escribibles

Fuente: Elaboración propia

En la figura 82, se representa la calificación que dieron los usuarios según su satisfacción al momento de usar los botones de navegación de usuario, siendo calificación de 1 como la menos satisfactoria y la calificación de 5 como la más satisfactoria. El 100 % de los usuarios dio la calificación de 5 al desempeño de los botones de navegación del dispositivo. Los encuestados afirmaron que el relieve de la figura era el adecuado y se distinguía con facilidad lo que representaba cada botón. Asimismo, todos los botones funcionaron de manera correcta durante las pruebas, realizando sus funciones correspondientes sin fallo alguno. Los usuarios también comentaron que el click que realizaban era un buen modo de confirmación que se presionó el dispositivo. Un comentario a destacar fue que se puede añadir una bocina que emita un pitido al momento de haber presionado el botón, además de sonar para indicar que se realizó el cambio de palabra o de título de manera correcta.

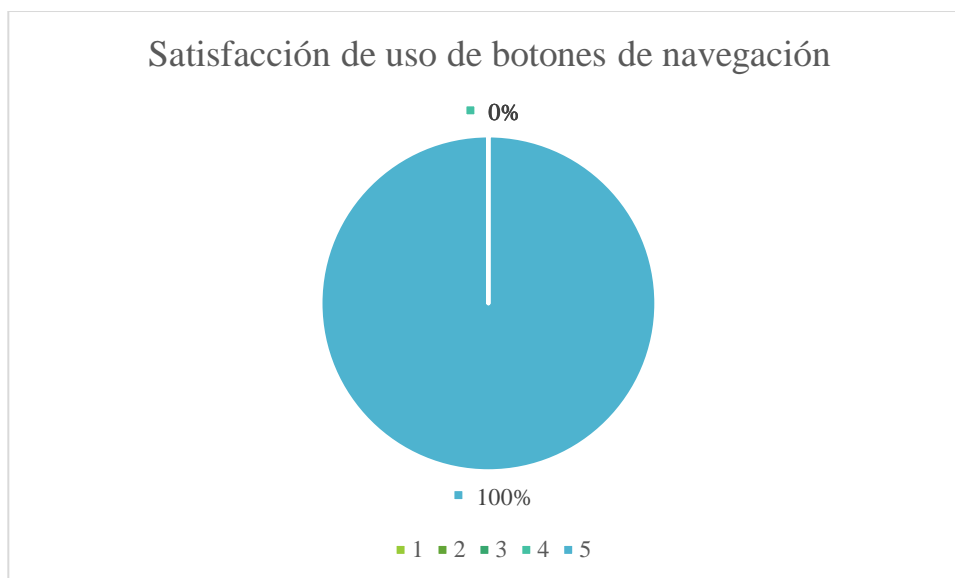


Figura 82. Satisfacción de uso de botones de navegación

Fuente: Elaboración propia

En la figura 83 se representa la calificación que los usuarios dieron a su satisfacción en el momento de seleccionar el libro requerido en el menú de navegación de libros, siendo la calificación de 1 como el menor nivel de satisfacción y la calificación de 5 representando el mayor nivel de satisfacción. El 20% de los usuarios dio la calificación de 4 y el 80% de usuarios dio la calificación de 5. Las calificaciones evidencian un alto grado de entendimiento al momento de usar el menú para navegar y encontrar el título requerido en el dispositivo.

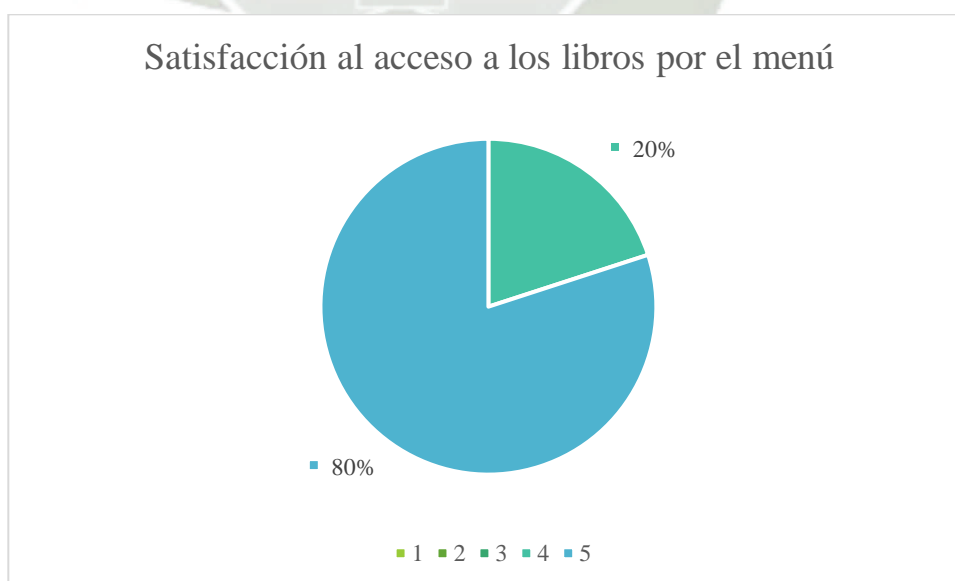


Figura 83. Satisfacción al acceso de libros por el menú

Fuente: Elaboración propia

En la figura 84 se representa el grado de deseo que tiene el usuario que el dispositivo cuente con una batería interna para su uso, siendo la calificación de 1 el menor deseo y la calificación de 5 el mayor nivel de deseo. El 100% de los usuarios calificó este aspecto con la nota de 5. Los usuarios indicaron que sería muy provechoso que el dispositivo pueda funcionar de manera independiente, sin necesidad del uso de la corriente alterna. Comentaron además que sí lo usarían en el caso de no contar con esta batería, pero que lo usarían incluso más una variedad de lugares si este cuenta con la autonomía que es consecuencia de tener una batería.

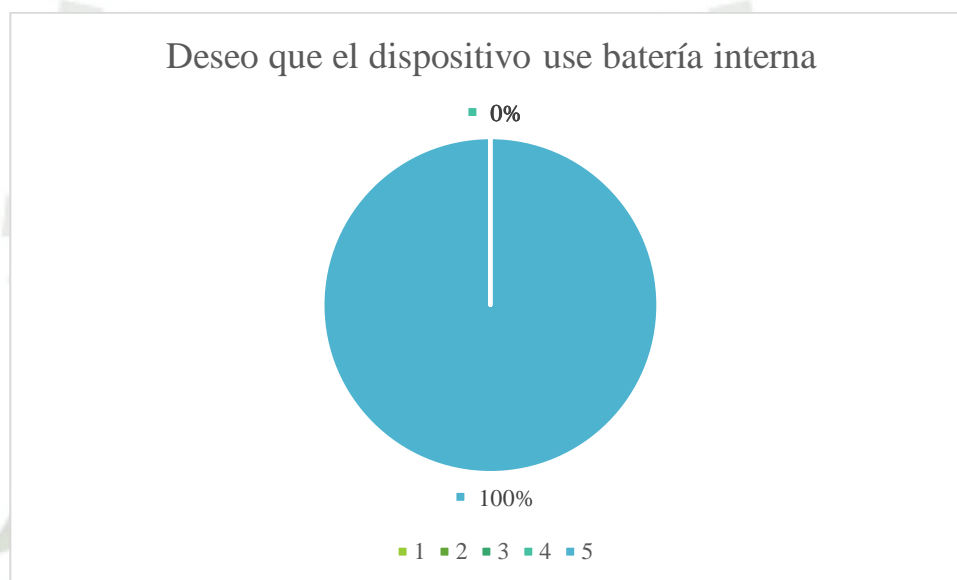


Figura 84. Deseo que el dispositivo cuenta con una batería interna

Fuente: Elaboración propia

En la figura 85 se representó la calificación que los usuarios dieron con respecto al deseo que tienen que este dispositivo pueda ser conectado a una biblioteca remota, representando la calificación de 1 el menor deseo y la calificación de 5 como el deseo máximo. El 100% de los usuarios calificaron con 5 este apartado. Los encuestados comentaron que era una muy buena idea la conexión de este dispositivo a una biblioteca remota, ya que les permitiría prestarse títulos sin la necesidad de tener que lidiar con el problema que tienen para transportarse por la ciudad que ya expresaron anteriormente en la encuesta.



Figura 85. Deseo de conexión del dispositivo con una biblioteca remota

Fuente: Elaboración propia

En las figuras 86 y 87 se presentan a algunos de usuarios encuestados que hicieron uso del dispositivo en sus centros de trabajo. Las pruebas se hicieron con el dispositivo en el modo portátil por la facilidad que este modo de uso representó.



Figura 86. Usuario encuestado en CERCIA

Fuente: Elaboración propia

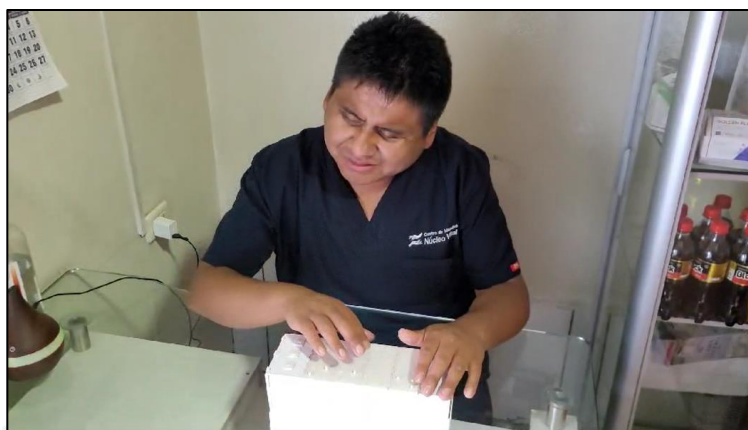


Figura 87. Usuario encuestado en centro de masajes

Fuente: Elaboración propia

En la figura 88 se muestra la pregunta realiza a los usuarios encuestados sobre qué tanta satisfacción al momento de usar una fuente de información tiene, antes de probar el dispositivo de lectura en sistema Braille.

4. ¿A qué fuente acude cuando desea investigar sobre un tema y cómo hace uso de esta fuente? (Ejemplo: por medio de una computadora con ayuda de voz para invidentes) Califique la facilidad de uso de la fuente del 1 al 5. _____

1 2 3 4 5

Figura 88. Pregunta N°4 antes de probar el dispositivo

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de los usuarios encuestados a la pregunta de la figura 88 se ven reflejados en la tabla 15.

Tabla 15.

Nivel de satisfacción de búsqueda de información antes probar el dispositivo de lectura Braille

Fuente: Elaboración propia

Nivel de satisfacción	Encuesta
1	1
2	0
3	0
4	2
5	1

En la figura 89 se muestra la pregunta a los encuestados luego de probar el dispositivo de lectura Braille.

3. ¿El acceso a los diversos libros le pareció sencilla? Califique del 1 al 5 según su experiencia

1 2 3 4 5

Figura 89. Pregunta N°3 después de probar el dispositivo

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de los usuarios encuestados a la pregunta de la figura 89 se ven reflejados en la tabla 16.

Tabla 16.

Nivel de satisfacción de búsqueda de información antes probar el dispositivo de lectura Braille

Fuente: Elaboración propia

Nivel de satisfacción	Encuesta
1	0
2	0
3	0
4	1
5	4

De las tablas 15 y 16 podemos obtener la tabla 17 que contrasta los valores antes obtenidos como medidas de satisfacción en la difusión de información antes y después de la existencia del dispositivo de lectura Braille.

Tabla 17.

Satisfacción en la difusión de información antes y después de probar el dispositivo de lectura Braille según los encuestados

Fuente: Elaboración propia

Satisfacción sin acceso a libro	Satisfacción a libro por braille
1	5
4	5
4	5
5	5
	4

De la tabla 17 se pueden obtener comparaciones estadísticas que se resumen en la tabla 18.

Tabla 18.

Resumen estadístico del nivel de satisfacción de usuarios encuestados

Fuente: Elaboración propia

	Satisfacción sin acceso a libro	Satisfacción a libro por braille
Recuento	4	5
Promedio	3.5	4.8
Desviación Estándar	1.73205	0.447214
Coefficiente de Variación	49.4872%	9.31695%
Mínimo	1.0	4.0
Máximo	5.0	5.0
Rango	4.0	1.0
Sesgo estandarizado	-1.25708	-2.04124
Curtosis estandarizada	1.17938	2.28218

Todos los usuarios pudieron leer los libros almacenados en el dispositivo de manera correcta, además que se acostumbraron con facilidad a la interfaz de usuario que este tiene. Algunas de las observaciones más destacables que ofrecieron los usuarios luego de haber contestado las preguntas de la encuesta fueron las siguientes:

- El dispositivo debería representar un número par de caracteres para poder leer de mejor manera las palabras.
- Se podría mejorar las separaciones de las distintas letras representadas, añadiendo detalles en bajo o alto relieve.
- Se podría añadir una pequeña bocina que emita pitidos para indicar al usuario el término de ciertas funciones del dispositivo.
- Es más deseable que la disposición de los caracteres se realice en una sola línea horizontal.

Conclusiones

- Primera: El dispositivo electrónico de lectura de sistema Braille para personas invidentes que utilizan el idioma español mejora el acceso a la información escrita mejorando el promedio de satisfacción con el acceso a información de los usuarios de un 3.5 a un 4.8, siendo 5 el grado de satisfacción más alto. Además, se obtiene una desviación estándar menor, pasando de 1.73 a 0.44, mejorando el acceso a la información para algunos usuarios en la actualidad.
- Segunda: Se determinó mediante 3 cuadros de ponderación de tecnologías disponibles las que mejor satisfacen de las características requeridas para el actuador de punto re escribible del dispositivo usando un electroimán, cilindro retráctil con resorte y dientes, y la impresión FDM, cada tecnología cumpliendo un porcentaje de satisfacción del 89.27%, 91.67% y 91.67% respectivamente.
- Tercera: Se diseñó por medio del método iterativo actuadores de punto re escribible que funcionan con diferencia de potencial eléctrico. Tomando como criterio la relación del número de puntos re escribibles errados entre el número total de posibles puntos re escribibles a errar en una palabra, se obtuvo un error promedio de 1.52%.
- Cuarta: Se hicieron los cálculos de diseño para la tarjeta electrónica de FR-4 que comanda todos los puntos re escribibles de lectura del dispositivo, así como las señales auxiliares de control de botones y switches.
- Quinta: Se escogió el microcontrolador ESP32 mediante una tabla de ponderación de tecnologías con un porcentaje de satisfacción de requisitos del 96.43%. Se desarrolló el software modular en la plataforma Espressif IDE, utilizando los lenguajes de programación ANSI C11 y ANSI C++17 con las guías de “Barr Group’s Embedded C Coding Standard”

Recomendaciones

1. Si se desea reproducir este dispositivo electrónico de lectura Braille, se debe idear un método de fabricación adecuado para su reproducción masiva como viene siendo la manufactura de moldes y el uso de inyección de polímeros, recomendable el ABS.
2. Crear un actuador que utilice más de una tecnología para su desplazamiento debe tomar en cuenta el aumento de precio tanto en a la investigación para diseñarlo, así como el impacto que tendrá en el precio final del producto.
3. Hay otras tecnologías más costosas para el actuador que permiten reducir las dimensiones del dispositivo. Sólo se debe de tener en cuenta que el circuito impreso de este dispositivo tiene la limitación de corriente de aproximadamente 2.5 amperes incluido un factor de seguridad de 1.5.
4. Para un mejor rendimiento de piezas móviles existen otros métodos de impresión 3D de mejor resolución como pueden ser polyjet o resina fotosensible.
5. Se puede mejorar el dispositivo por medio del diseño de una aplicación de celular o en internet que permita la conexión inalámbrica con el dispositivo para el paso de información a la memoria micro SD.

Referencias bibliográficas

- Acrilux. (s.f.). *Propiedades del acrílico*. Obtenido de <https://acrilux.com.ec/files/PROPIEDADES.pdf>
- Aguilar Peña, J., & Montejo Ráez, M. (2015). *Dispositivos electrónicos de potencia: Optoacopladores*. Obtenido de Universidad de Granada: https://www.ugr.es/~amroldan/enlaces/dispo_potencia/opto.htm
- Alibrate. (2020). *Alibrate*. Obtenido de https://www.alibrate.com/libros-dominio-publico?_escaped_next_=1
- Alu-Stock. (2020). *Alu-Stock Web Site*. Obtenido de <https://www.alu-stock.es/es/informacion-tecnica/el-aluminio/#:~:text=Propiedades%20del%20aluminio,muy%20electropositivo%20y%20extremadamente%20reactivo>.
- Anirudha , R., Swati, G., & Biswarup, N. (2015). An overview on tactile display, haptic investigation towards beneficial for blind person. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 88-94.
- Artero, Ó. T. (2013). *Arduino Curso práctico de formación*. Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
- Azenkot, S., & Fortuna, E. (Octubre de 2010). Improving Public Transit Usability for Blind and Deaf-Blind People by.
- BBC Ideas. (3 de Agosto de 2019). *BBC*. Obtenido de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-49207740>
- Blind, A. A. (1 de Junio de 2021). *Youtube*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=1OzrjtAfl3Y>
- C., L. (19 de Agosto de 2019). *3dnatives*. Obtenido de <https://www.3dnatives.com/es/guia-filamento-pla-en-la-impresion-3d-190820192/#!>
- Casa la lapicera. (25 de abril de 2017). *Facebook*. Obtenido de Casa la lapicera: <https://web.facebook.com/watch/?v=1307560782631696>

- CONCYTEC. (s.f.). *Campos de la Investigación y el Desarrollo OCDE*. Obtenido de https://conocimiento.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html#2.00.00
https://conocimiento.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html#2.00.00
- Coombs, J. C. (2008). *Printed Circuits Handbook*. the McGraw-Hill Companies.
- Cruz, I. J. (26 de Agosto de 2022). *Diseño para Manufacturabilidad*. Argentina.
- Delgado, D. O. (14 de Abril de 2023). Obtenido de <https://openwebinars.net/blog/que-es-c-introduccion/>
- EATON. (2018). *Fundamentos acerca de la protección contra sobrecorriente*.
- elaplas. (2021). *Elaplas Web Site*. Obtenido de <https://www.elaplas.es/materiales/plasticos-tecnicos/policarbonato-pc/>
- Electrónicos Caldas. (s.f.). *Electrónicos Caldas*. Obtenido de <https://www.electronicoscaldas.com/es/conectores-para-tarjetas-de-memoria-y-sim-card/760-modulo-para-memoria-sd.html>
- Electrotec. (2021). *Optoacoplador: definición, tipos y aplicaciones*. Obtenido de <https://electrotec.pe/blog/OptoNEW>
- Espressif. (6 de Diciembre de 2017). *Espressif*. Obtenido de https://dl.espressif.com/dl/schematics/esp32_devkitc_v4-sch.pdf
- Espressif. (2023). Hoja de datos de ESP32 series.
- Espressif Systems. (2023). Hoja de datos ESP32 series. Shangai.
- Esteban, E. V. (s.f.). *Universitat de València*. Obtenido de <https://informatica.uv.es/estguia/ATD/apuntes/laboratorio/Lenguaje-C.pdf>
- Esun. (Noviembre de 2021). *Esun3d*. Obtenido de https://www.esun3d.com/uploads/eSUN_PLA+-Filament_TDS_V4.0.pdf
- Farichild. (2006).
- Fullmecanica. (2014). *Full Mecánica*. Obtenido de <http://www.fullmecanica.com/definiciones/f/7-fuerza-magnetomotriz>

- García Rubio, J.-L., & Olivia Alcalá, M. (s.f.). *Queadernsdigitals*. Obtenido de http://www.quadernsdigitals.net/datos_web/articles/edutec/congresos/edutec95/comunicaciones/grupo4/ednuevastecnologias.htm
- García, V. (15 de Noviembre de 2012). *Diario Electronico Hoy*. Obtenido de <https://www.diarioelectronicohoy.com/blog/el-transistor-mosfet>
- Goilav, N., & Loi, G. (Marzo de 2016). *Ediciones-Eni*. Obtenido de <https://www.ediciones-eni.com/open/mediabook.aspx?idR=3d1995e548f927ca1b5491511dd97be7>
- Grupo social ONCE. (2023). *ONCE*. Obtenido de <https://www.once.es/servicios-sociales/braille>
- HIOKI. (s.f.). *HIOKI*. Obtenido de <https://www.hioki.com/us-es/learning/electricity/resistance.html#:~:text=Cuando%20existe%20un%20diferencia%20de,resistencia%2C%20mayor%20ser%20la%20corriente.>
- INEI. (Marzo de 2014). *Inei.gob.pe*. Obtenido de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1171/ENEDIS%202012%20-%20COMPLETO.pdf
- International Rectifier. (19 de Diciembre de 2014). IRLML6344TRPbF Technical Datasheet.
- Jiang, C., Uchida, K., & Sawada, H. (3 de Junio de 2014). Research and development of vision based tactile display system using shape memory alloys. Japón: Kagawa University.
- Leaders League. (8 de Junio de 2017). <https://www.leadersleague.com/en/news/kristina-tsvetanova-co-founder-ceo-blitab-what-good-is-innovation-if-there-s-no-human-impact>. Obtenido de <https://www.leadersleague.com/en/news/kristina-tsvetanova-co-founder-ceo-blitab-what-good-is-innovation-if-there-s-no-human-impact>
- López, D. D. (14 de Diciembre de 2013). *Academia de Ciencias de Murcia*. Obtenido de <https://www.um.es/acc/aleaciones-con-memoria-de-forma/>
- Motorola Inc. (1995). 6-Pin DIP Zero-Cross Optoisolators Triac Driver Output.
- Mu-Chun, S., Chia-Yi, C., Shi-Young, S., Chien-Hsing, C., Hsiang-Feng, H., & Yu-Chine, W. (2001). Portable communication aid for deaf-blind people. *Computing & Control Engineering Journal*, 8.

- OBERG, E., JONES, F., HORTON, H., & RYFFEL, H. (2004). *Machinery's Handbook*. New York: Industrial Press Inc.
- Orozco Cuautle, J. L. (1999). Así reparo....FUENTES DE ALIMENTACION CONMUTADAS EN TELEVISORES MODERNOS. En J. L. Orozco Cuautle, *Así reparo....FUENTES DE ALIMENTACION CONMUTADAS EN TELEVISORES MODERNOS* (pág. 26). Mexico Digital Comunicacion.
- Peterson, Z. (5 de Octubre de 2020). *Altium*. Obtenido de <https://resources.altium.com/es/p/what-is-a-pcb>
- Phillips. (25 de Junio de 2003). *Hoja de datos de 74HC595*.
- Polimertecnic. (14 de Junio de 2018). *Polimertecnic Web Site*. Obtenido de <https://www.polimertecnic.com/propiedades-del-policarbonato/#:~:text=Muy%20alta%20resistencia%20a%20los,a%20riesgos%20de%20deformaci%C3%B3n%20t%C3%A9rmica>
- Pulido, M. Á. (2010). *Electroimanes*. Alicante: Editorial Club Universitario.
- Ramos García, O. I., Vuelvas Alvarado, A. A., Osorio Pérez, N. A., Ruiz Torres, M. Á., Estrada González, F., Gaytan Lugo, L. S., . . . Santana Mancilla, P. C. (1 de Noviembre de 2022). An IoT Braille Display towards Assisting Visually Impaired Students in Mexico. Mexico: Universidad de Colima.
- Rivas, D. F. (2008). *Core*. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/31150624.pdf>
- Rohrig, B. (16 de Diciembre de 2021). *American Chemical Society*. Obtenido de <https://www.acs.org/content/dam/acsorg/education/resources/highschool/chemmatters/issues/2021-2022/december-2021/ferrofluids-spanish.pdf>
- Runyan, N. H., & Carpi, F. (2011). Seeking the 'holy Braille' display:.. *Expert Review of Medical Devices*.
- SCHIAVON, P. M. (2012). *Universidad Nacional de Rosario*. Obtenido de <https://www.fceia.unr.edu.ar/eca1/files/teorias/Diodos%20-%202012.pdf>
- SDIndustrial. (s.f.). *SDIndustrial*. Obtenido de <https://sdindustrial.com.mx/blog/fusibles/>
- SDIndustrial. (s.f.). *SDIndustrial*. Obtenido de <https://sdindustrial.com.mx/blog/codigo-de-colores-resistencias/>

SMC Diode Solutions. (s.f.). *MBR260HW Technical Datasheet*.

Solectro. (2021 de 02 de 2021). *Solectro*. Obtenido de <https://solectroshop.com/es/blog/x-n71#:~:text=Bater%C3%ADas%20de%20pol%C3%ADmero%20de%20litio,a%20las%20de%20otros%20componentes>.

Somerville, I. (2011). *Ingeniería de software novena edición*. Atlacomulco: Pearson.

STMicroelectronics. (Septiembre de 2007). BTA12 triac.

T. ISHII, S. S. (s.f.). Design of shape memory alloy (SMA) coil springs.

TECSUP. (2021). Tema 5: El transistor bipolar. Perú.

Torre, F. d. (s.f.). *Instituto politécnico*. Obtenido de <https://rephip.unr.edu.ar/bitstream/handle/2133/16744/21502-19%20ACCIONAMIENTOS%20ELECTROMEC%C3%81NICOS%20Introducci%C3%B3n%20al%20magnetismo.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Unicrom. (s.f.). *Electrónica fácil*. Obtenido de <https://www.electronicafacil.net/tutoriales/Carga-descarga-condensador.html#:~:text=Proceso%20de%20carga%3A&text=El%20tiempo%20que%20se%20tarda,el%20resultado%20estar%C3%A1%20en%20milisegundos>.

Unidas, N. (2015). *Objetivos de desarrollo sostenible*. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Universidad Nacional de San Luis. (2024). *Introducción a los sistemas operativos*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/introduccionso/teorias>

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional de Rosario. (s.f.). *Departamento de materias básicas*. Obtenido de [https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/basicas/fisica2/files/\(3\)%20CAPACIDAD%20Y%20CAPACITORES.pdf](https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/basicas/fisica2/files/(3)%20CAPACIDAD%20Y%20CAPACITORES.pdf)

Velázquez, R., Pissaloux, E. E., Hafez, M., & Szewczyk, J. (2007). Toward low-cost highly portable tactile displays with shape memory alloys. Francia: Université Pierre et Marie Curie.

Weerg. (Mayo de 2020). *Weerg Web Site*. Obtenido de <https://www.weerg.com/es/es/blog/aluminio-caracter%C3%ADsticas-propiedades-y-ventajas>

Wobbrock, J., Kane, S. K., & Vanderheiden, G. (22 de Junio de 2020). Ability-based design.

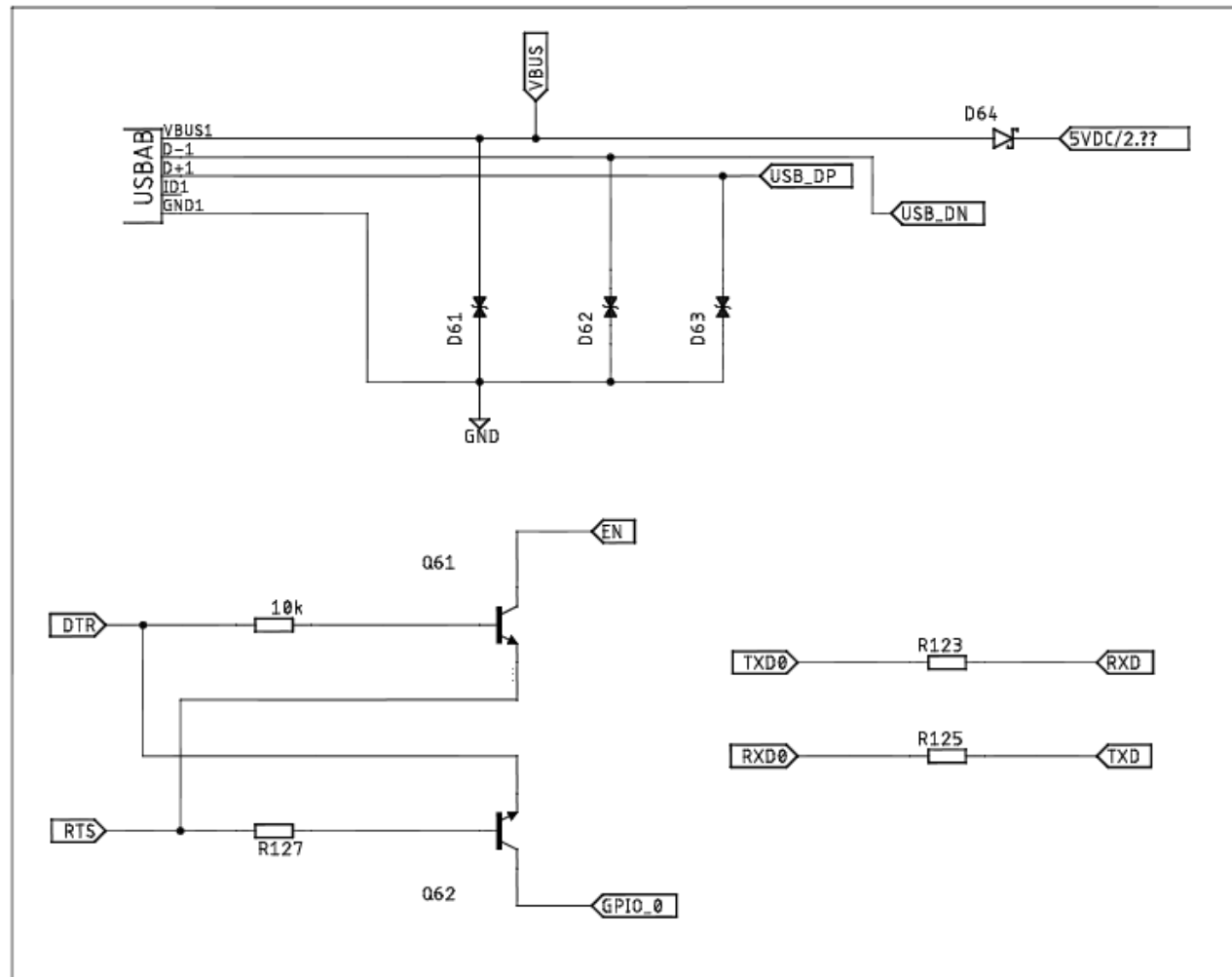
Yataco, R. (2021). *Sala para personas con discapacidad visual* . Obtenido de Biblioteca Nacional del Perú: <https://www.bnpl.gob.pe/servicios/sala-de-lectura/gbpl-sala-discapacidad-visual/>



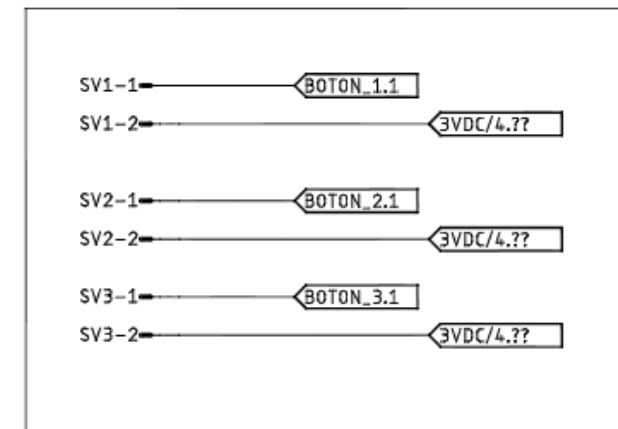




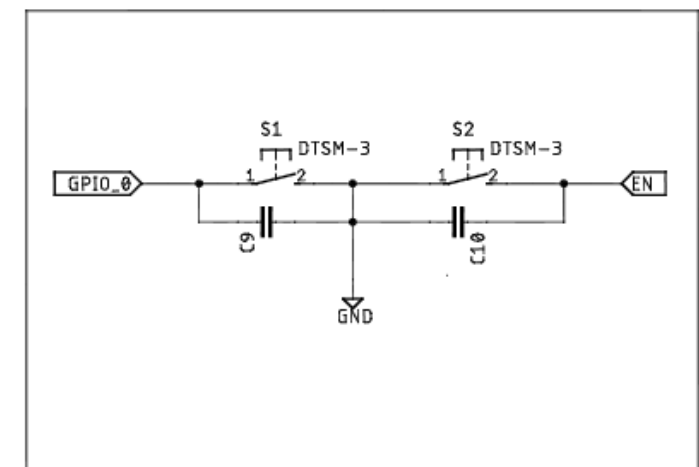
Conector USB



Españoles botones



Botones Boot y EN



0	NOTA	G. Jesus	29/09/23
	REV/NOTA	DIBUJO	REVISOR/FECHA



Universidad Católica de Santa María

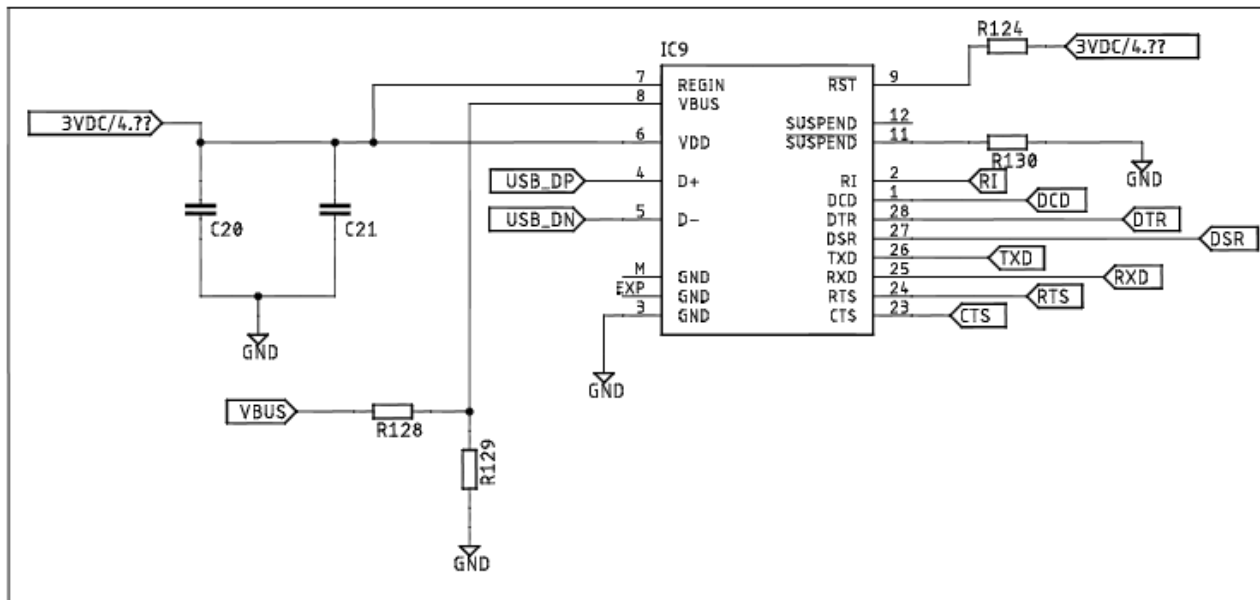
PROYECTO:
Diseño e implementación de un dispositivo electrónico de lectura de sistema Braille para personas invidentes que utilicen el idioma español

NOMBRE DEL PLANO:
Conectores de control

PLANO N° 2 de 22
Código

ELABORÓ
Jesus Gonzales

Convertor UART a USB



0	NOTA	E. JUAN	29/09/23
	REV/NOTA	DIBUJO	REVISO FECHA



PROYECTO:
Diseño e implementación de un dispositivo electrónico de lectura de sistema Braille para personas Invidentes que utilicen el idioma español

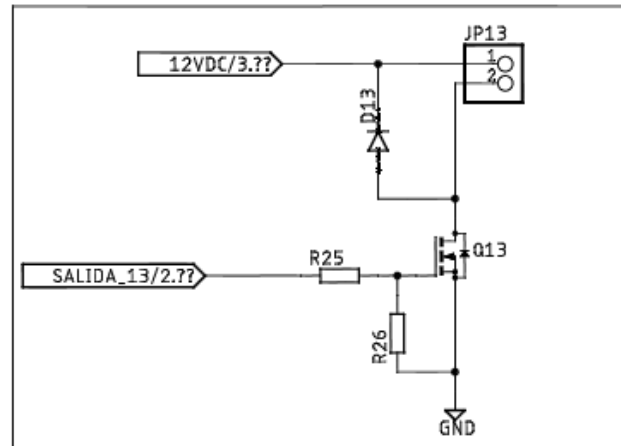
NOMBRE DEL PLANO:
Convertor UART a USB

PLANO N° 4 de 22

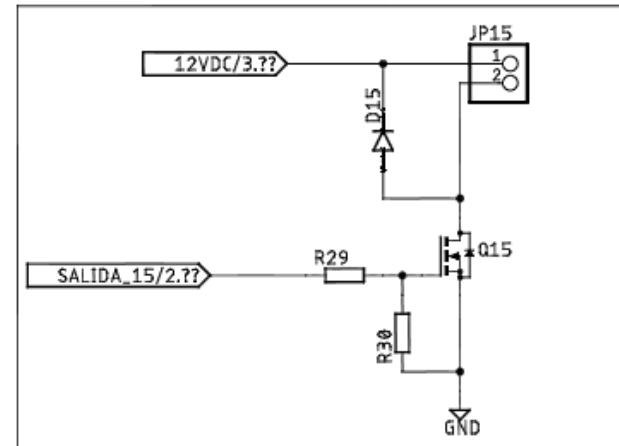
CADDO

ELABORA
Jesus Gonzales

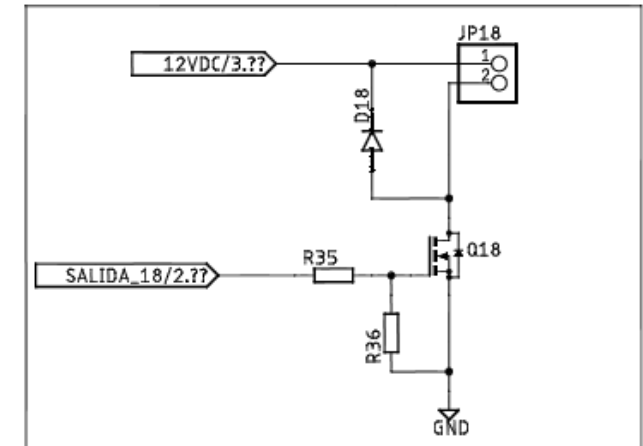
Actuador 13



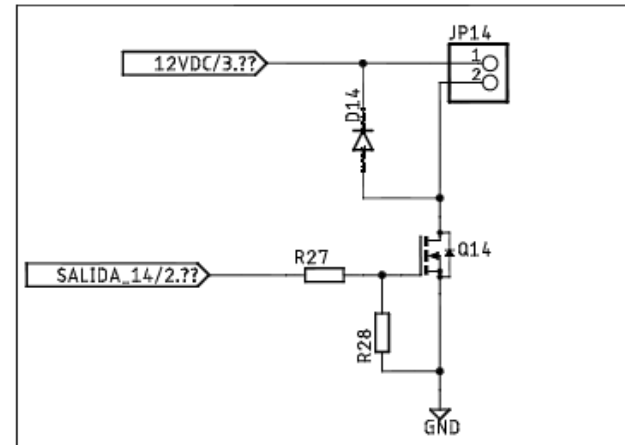
Actuador 15



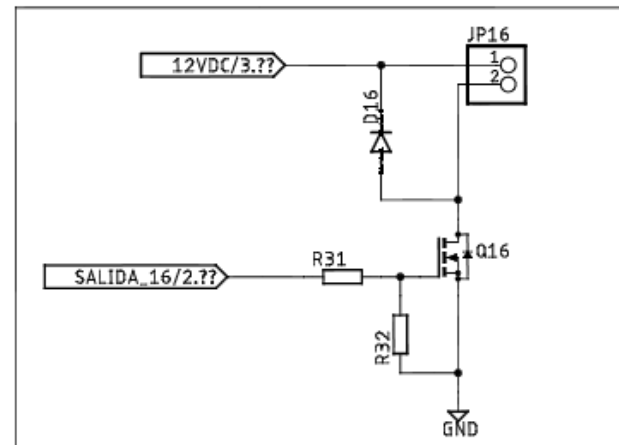
Actuador 18



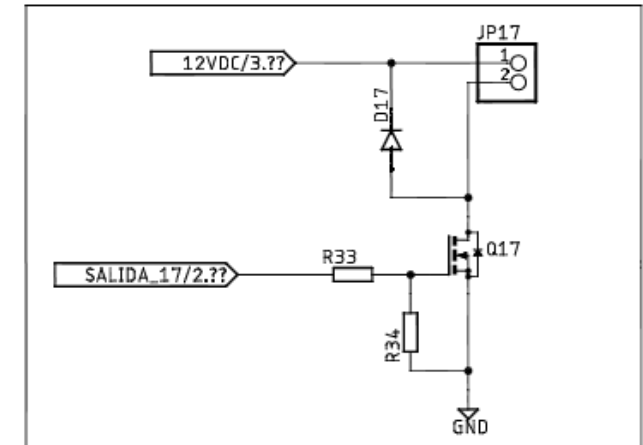
Actuador 14



Actuador 16



Actuador 17



0	NOTA	G. JESUS	29/09/23
REV	NOTA	IBRAJID	REVISOR FECHA



Universidad Católica de Santa María

PROYECTO:
Diseño e implementación de un dispositivo electrónico de lectura de sistema Braille para personas Invidentes que utilicen el idioma español

NOMBRE DEL PLANO:
Conexiones actuadores 13-18

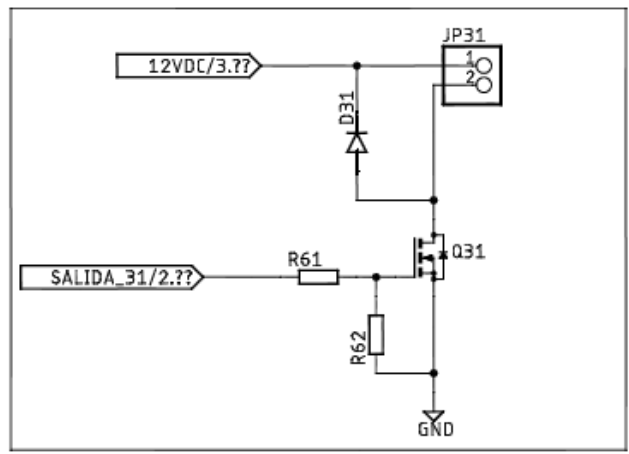
PLANO N° 7 de 22

CADDD

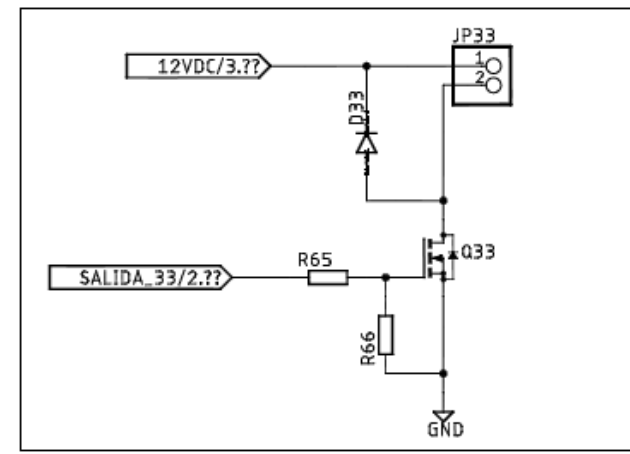
ELABORÓ

Jesús Gonzales

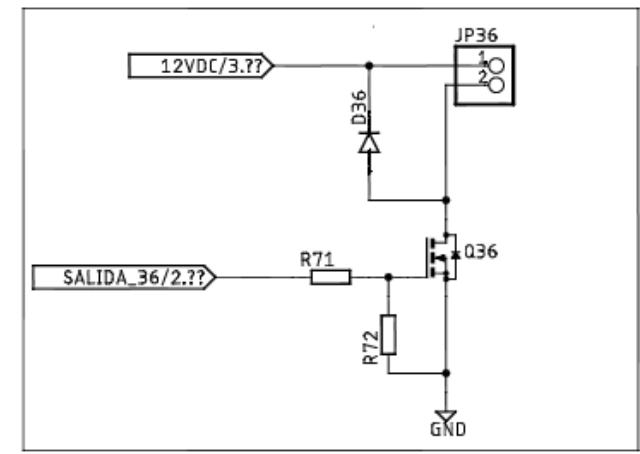
Actuador 31



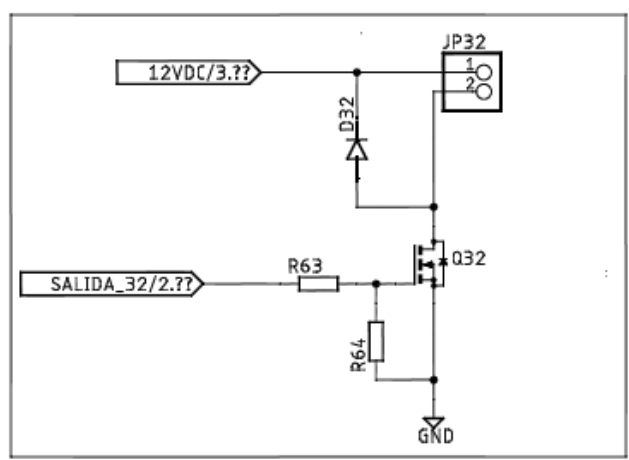
Actuador 33



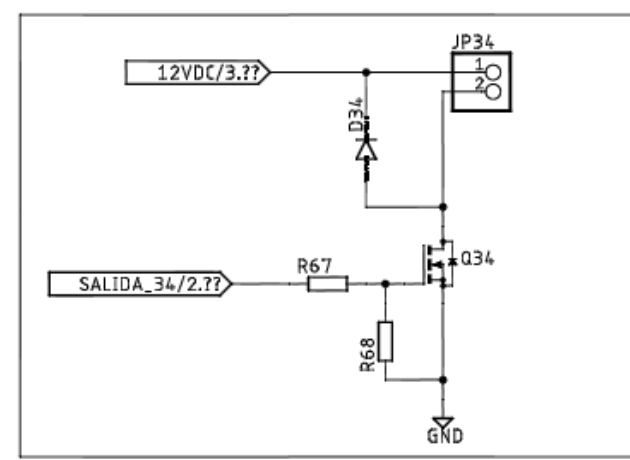
Actuador 36



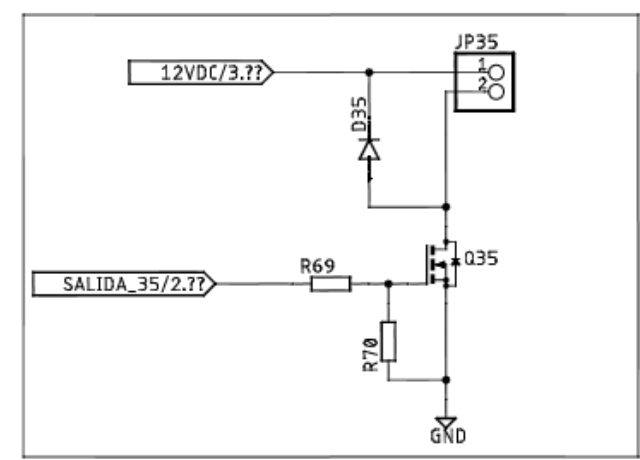
Actuador 32




Actuador 34



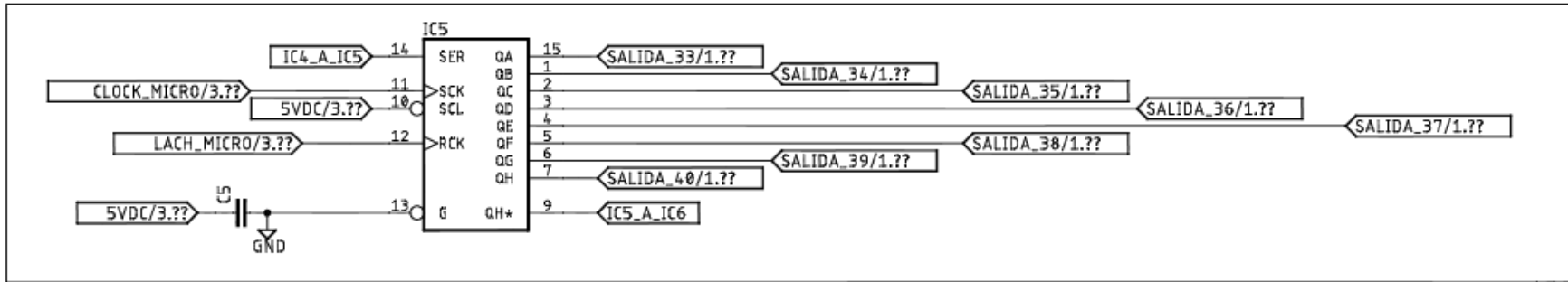
Actuador 35



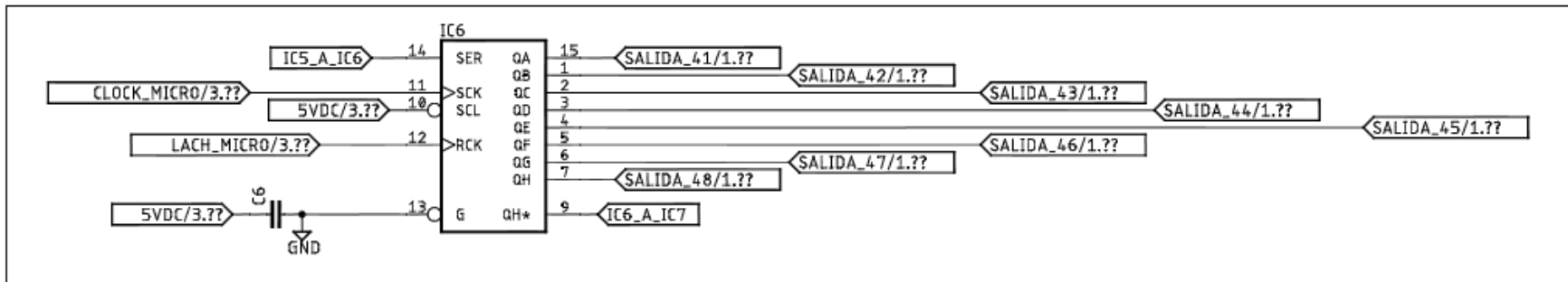
0	NOTA	E. Jesus	29/09/23
1	REVISION	TIBUJO	REVISOR
2			
3			
4			
5			
6			

 Universidad Católica de Santa María	PROYECTO: Diseño e implementación de un dispositivo electrónico de lectura de sistema Braille para personas Invidentes que utilicen el idioma español	PLANO N° 10 de 22 CODIGO
	NOMBRE DEL PLANO: Conexiones actuadores 29-36	ELABORA Jesus Gonzales

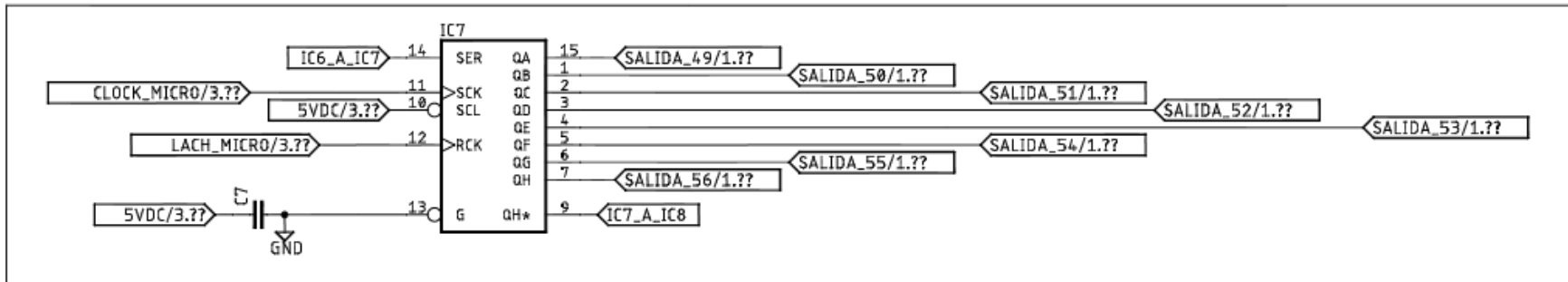
Shift register 5



Shift register 6



Shift register 7



0	NOTA	E. Jesus	29/09/23
REV	NOTA	TITULO	REVISO FECHA



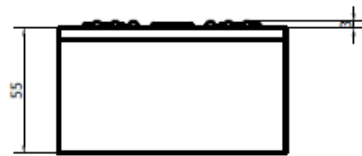
Universidad Católica de Santa María

PROYECTO:
Diseño e implementación de un dispositivo electrónico de lectura de sistema Braille para personas Invidentes que utilicen el idioma español

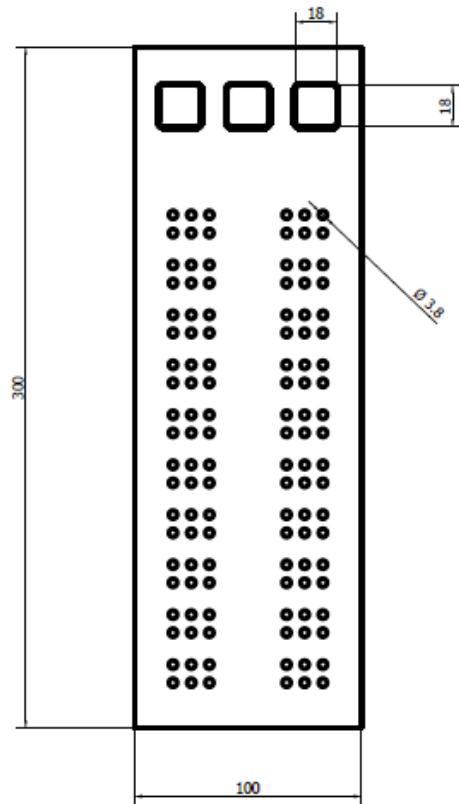
NOMBRE DEL PLANO:
Shift registers 4-6

PLANO N° 16 de 22
Código

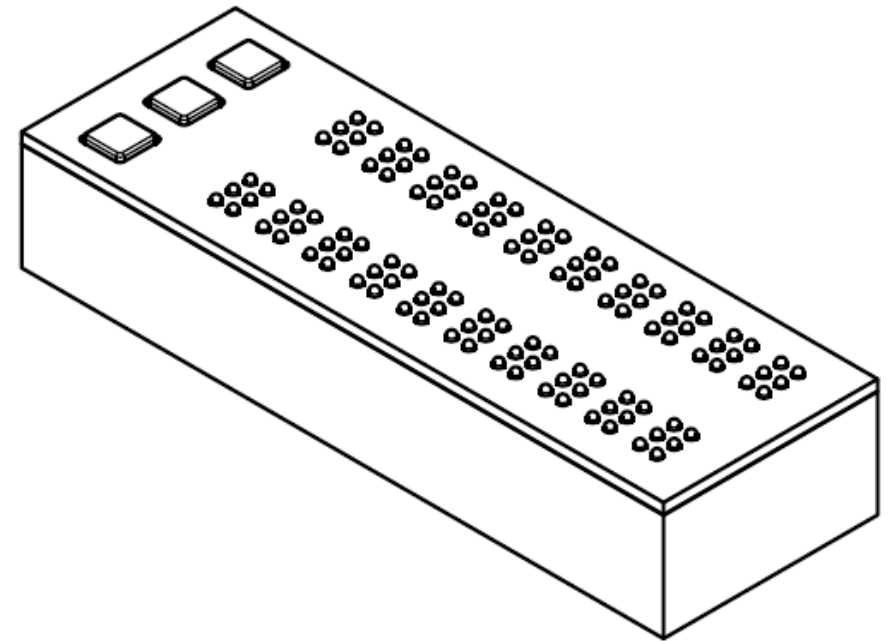
ELABORA
Jesus Gonzales



Vista forntal (Escala 1 : 3)

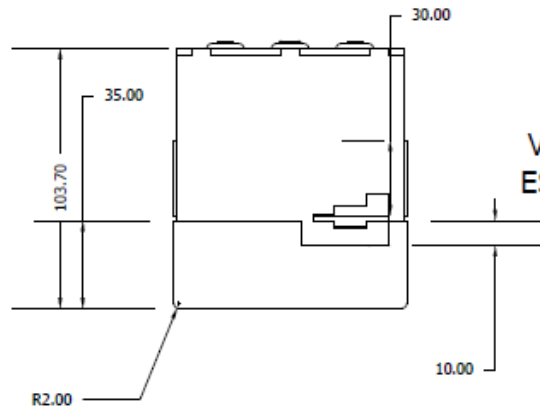


Vista superior (Escala 1 : 3)

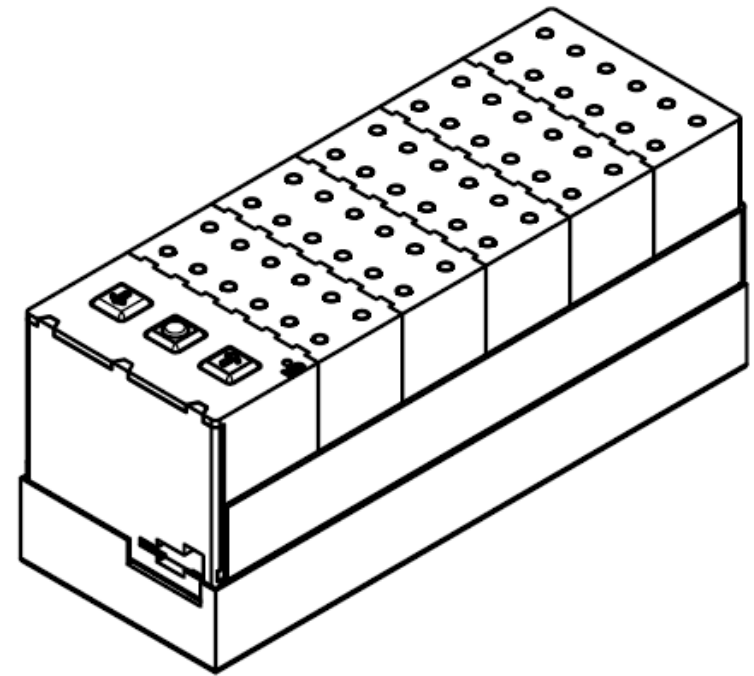


Isométrico (Escala 1 : 3)

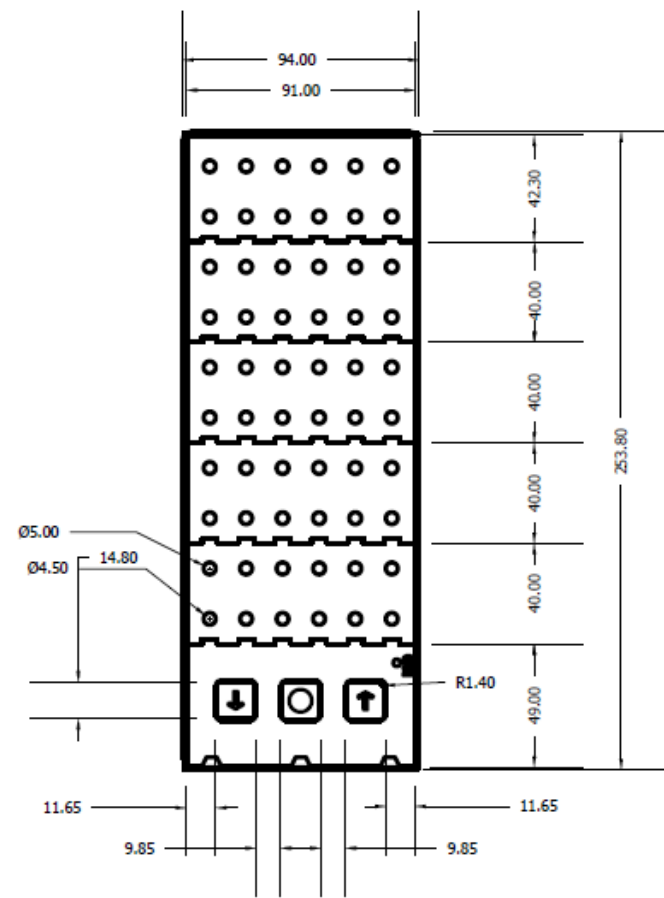
						 Universidad Católica de Santa María	PROYECTO: Diseño e implementación de un dispositivo electrónico de lectura de sistema Braille para personas Invidentes que utilicen el idioma español	PLANO N° 21 de 22 Código
0	NOTA	E. Jesús	29/09/23				NOMBRE DEL PLANO: Boceto general	ELABORó Jesus Gonzales
	REV/NOTA	DIBUJÓ	REVISÓ	FECHA				



Vista frontal
ESCALA 1 : 2



Vista isométrica
ESCALA 1 : 3



Vista superior
ESCALA 1 : 2

0	NOTA	G. JUAN	29/09/23
REV	NOTA	DIBUJO	REVISO FECHA



PROYECTO:
Diseño e implementación de un dispositivo electrónico de lectura de sistema Braille para personas invidentes que utilicen el idioma español

NOMBRE DEL PLANO:
Ensamble prototipo

PLANO N° 22 de 22
CÓDIGO
ELABORÓ
Jesus Gonzales



ANEXO 2: ENCUESTA

2.1. Encuesta de satisfacción de usuario

Nombre: _____

Encuesta sobre prototipo de "E-braille"

La siguiente encuesta se realiza como parte de la investigación de la tesis de diseño e implementación de un dispositivo electrónico de lectura de sistema Braille para personas invidentes que utilicen el idioma español, desarrollada por el bachiller en Ingeniería mecatrónica Jesús Eduardo Gonzales Davila de la Universidad Católica de Santa María, con el fin de consultar sobre la experiencia de usuario de sujetos de prueba y encontrar posibles sugerencias u opiniones que sirvan para mejorar el lector electrónico. Las preguntas con calificación del 1 al 5 indican la experiencia del usuario, siendo 1 muy mala y 5 muy buena.

Preguntas previas a la prueba del equipo:

1. ¿Desde cuándo posee su discapacidad visual?

2. ¿Sabe leer textos en código Braille? Califique su dominio para leer del 1 al 5.

1 2 3 4 5

3. ¿Cuál es su máximo grado de estudios alcanzado? Califique su facilidad para acceder a información escrita del 1 al 5. _____

1 2 3 4 5

4. ¿A qué fuente acude cuando desea investigar sobre un tema y cómo hace uso de esta fuente? (Ejemplo: por medio de una computadora con ayuda de voz para invidentes) Califique la facilidad de uso de la fuente del 1 al 5. _____

1 2 3 4 5

5. ¿Necesita de ayuda para realizar algunas de sus actividades diarias? Califique la dificultad para trasladarse fuera de su casa del 1 al 5. _____

1 2 3 4 5

Preguntas posteriores a la prueba del equipo:

1. ¿Puede leer los caracteres en Braille representados en el dispositivo de manera correcta? Califique la experiencia del 1 al 5.

1 2 3 4 5

2. ¿Los botones del dispositivo son lo suficientemente grande, responsivos y tienen un símbolo en relieve adecuado para su identificación? Califique las 3 características mencionadas del 1 al 5 según su nivel de satisfacción

1 2 3 4 5

3. ¿El acceso a los diversos libros le pareció sencilla? Califique del 1 al 5 según su experiencia

1 2 3 4 5

4. ¿Es deseable que el dispositivo tenga batería? Califique del 1 al 5 según el grado de importancia que representa la batería para usted.

1 2 3 4 5

5. ¿Opina que es una buena alternativa para posteriormente conectarlo al servicio de alguna biblioteca pública y así solicitar libros o artículos investigativos de manera virtual? Califique la idea de conexión a una biblioteca virtual para el préstamo de libros del 1 al 5 según su opinión.

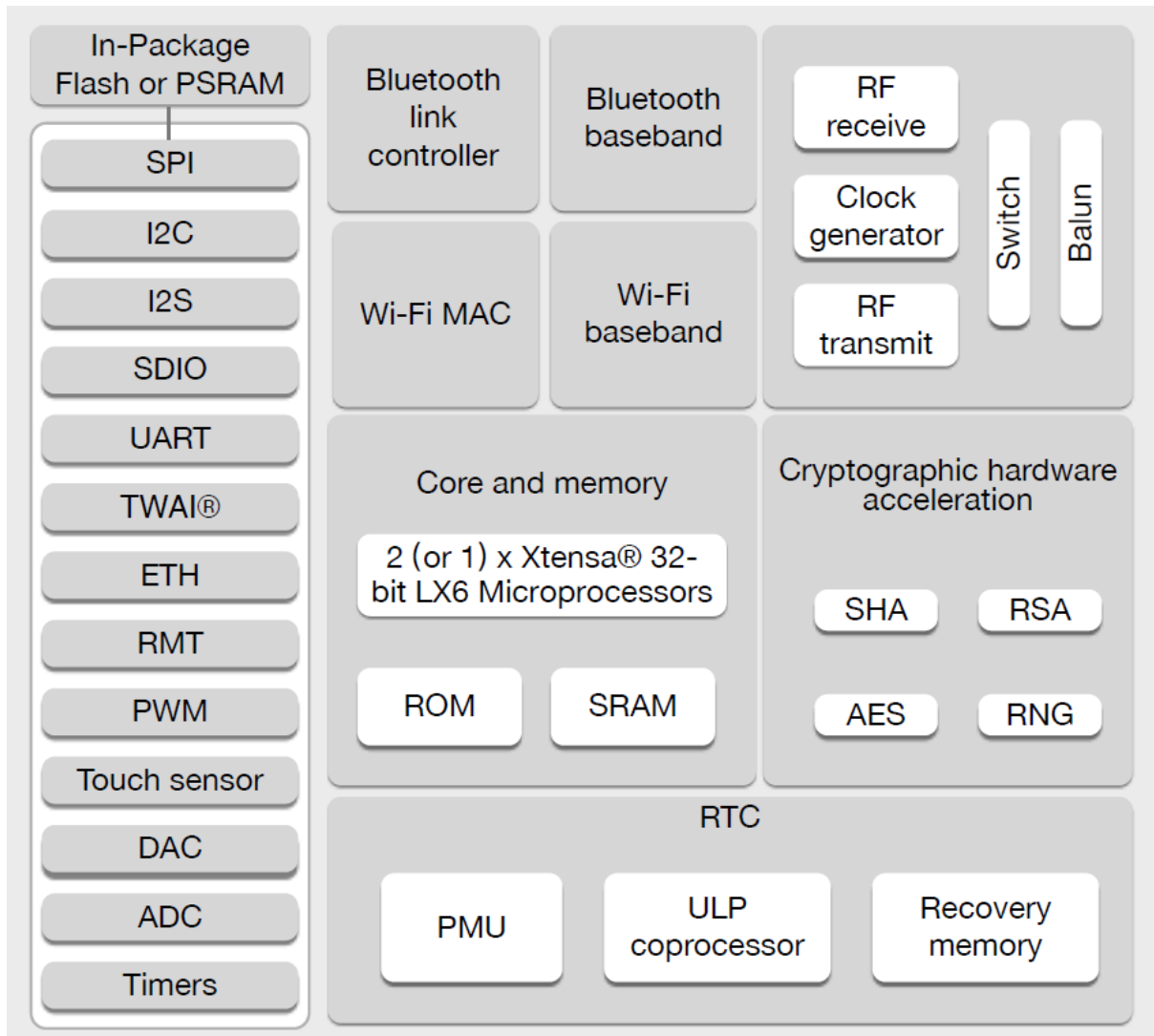
1 2 3 4 5

Observaciones para mejorar:






























ANEXO 3: HOJAS DE DATOS








3.1. Anexo A: Vista de bloques funcionales ESP32



Fuente: (Espressif, 2023)


3.2. Anexo B: Alfabeto Braille y signos diacríticos del castellano

Alfabeto braille									
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
									
k	l	m	n	o	p	q	r	s	t
									
u	v	x	y	z	ñ	w			
									

Castellano						
á	é	í	ó	ú	ü	ñ
						

Fuente: (Grupo social ONCE, 2023)

3.3. Anexo C: Hoja de datos de PLA+



Nov.2021 Version 4.0

PLA+

Technical Data Sheet

The product is modified based on PLA material, easy to print , in addition ,it improves the toughness and layer adherence.PLA+ is an environmentally friendly material, which is easy to print and has smooth surface.Good strength, rigidity, toughness balance, strong impact resistance, very suitable for functional parts printing;Approved by FDA, safer to use;Can be used for conceptual model, rapid prototyping.

Material Status	Mass Production	
Characteristics	<ul style="list-style-type: none"> • Good toughness • Strong impact resistance • High speed printing 	<ul style="list-style-type: none"> • Smooth printed surface • Easy to print • Hard to break
Applications	<ul style="list-style-type: none"> • Prototyping • COSPLAY 	<ul style="list-style-type: none"> • Decoration • Other mechanical parts
Form	<ul style="list-style-type: none"> • Filament 	
Processing method	<ul style="list-style-type: none"> • 3D Print, FDM Print 	

	testing method	Typical value	
Physical Properties			
Density	GB/T 1033	1.23	g/cm ³
Melt Flow Index	GB/T 3682	5	(190°C/2.16kg)
Mechanical Properties			
Tensile Strength	GB/T 1040	63	MPa
Elongation at Break	GB/T 1040	20	%
Flexural Strength	GB/T 9341	74	MPa
Flexural Modulus	GB/T 9341	1973	MPa
IZOD Impact Strength	GB/T 1843	9	kJ/m ²
Thermal Properties			
Heat distortion Temperature	GB/T 1634	53	°C
Continuous Service Temperature	IEC 60216	N/A	
Maximum (short term) Use Temperature		N/A	
Electrical Properties			
Insulation Resistance	DIN IEC 60167	N/A	
Surface Resistance	DIN IEC 60093	N/A	

Wuhan University Building A403-LA001, No.6 Yuexing 2 Road, Nanshan District, Shenzhen, Guangdong
 China
 Tel +86 755 86581960
 fax +86 755 26031982
 Email: bright@brightcn.net
 www.esun3d.net

1/2

Recommended printing parameters

Extruder Temperature	210- 230°C
Build Platform Temperature	45-60°C
Fan Speed	100%
Printing Speed	40 - 100mm/s

Based on 0.4 mm nozzle and Simplify 3D v.4.1.2. Printing conditions may vary with different nozzle diameters

Drying Recommendations

N/A

Precautions:

When slicing, it is best to turn on the Z seam alignment and starting point alignment functions, turn off the Z-axis lift and exit, avoid passing through the shell when idling, optimize the slicing printing path, and appropriately reduce the printing speed to achieve the best printing effect.

Mechanical Properties



Tensile testing specimen GB/T 1040



Flexural testing specimen GB/T 9341



Impact testing specimen GB/T 1042

The physical properties, mechanical properties, thermal properties, and electrical properties of the line are obtained based on the injection molding spline test.

Print test condition :

Extruder Temperature	190-230°C
Build Platform Temperature	45°C
Outline/Perimeter Shells	4
Top/Bottom Layers	4
Infill Percentage	20%
Fan speed	100%
Printing speed	40mm/s

Based on 0.4 mm nozzle and Simplify 3D v.4.1.2.

Notice

All information supplied by or on behalf of eSUN in relation to this product, whether in the nature of data, recommendations or otherwise, is supported by research and, in good faith, believed reliable, but the product is sold "as is". eSUN assumes no liability and makes no representations or warranties, express or implied, of merchantability, fitness for a particular purpose, or of any other nature with respect to information or the product to which information refers and nothing herein waives any of the seller's conditions of sale.

Wuhan University Building A403-LA001, No.6 Yuexing 2 Road, Nanshan District, Shenzhen, Guangdong

China

Tel +86 755 86581960

Fax +86 755 26031982

Email bright@brightcn.net

www.esun3d.net

2/2

3.4. Anexo D: Hoja de datos optoacoplador MOC3042

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

Order this document
by MOC3041/D



6-Pin DIP Zero-Cross Optoisolators Triac Driver Output (400 Volts Peak)

The MOC3041, MOC3042 and MOC3043 devices consist of gallium arsenide infrared emitting diodes optically coupled to a monolithic silicon detector performing the function of a Zero Voltage Crossing bilateral triac driver.

They are designed for use with a triac in the interface of logic systems to equipment powered from 115 Vac lines, such as solid-state relays, industrial controls, motors, solenoids and consumer appliances, etc.

- Simplifies Logic Control of 115 Vac Power
- Zero Voltage Crossing
- dv/dt of 2000 V/ μ s Typical, 1000 V/ μ s Guaranteed
- *To order devices that are tested and marked per VDE 0884 requirements, the suffix "V" must be included at end of part number. VDE 0884 is a test option.*

Recommended for 115/240 Vac(rms) Applications:

- Solenoid/Valve Controls
- Lighting Controls
- Static Power Switches
- AC Motor Drives
- Temperature Controls
- E.M. Contactors
- AC Motor Starters
- Solid State Relays

MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
--------	--------	-------	------

INFRARED EMITTING DIODE

Reverse Voltage	V_R	6	Volts
Forward Current — Continuous	I_F	60	mA
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Negligible Power in Output Driver Derate above 25°C	P_D	120	mW
		1.41	mW/ $^\circ\text{C}$

OUTPUT DRIVER

Off-State Output Terminal Voltage	V_{DRM}	400	Volts
Peak Repetitive Surge Current (PW = 100 μ s, 120 pps)	I_{TSM}	1	A
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	150	mW
		1.76	mW/ $^\circ\text{C}$

TOTAL DEVICE

Isolation Surge Voltage ⁽¹⁾ (Peak ac Voltage, 60 Hz, 1 Second Duration)	V_{ISO}	7500	Vac(pk)
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	250	mW
		2.94	mW/ $^\circ\text{C}$
Junction Temperature Range	T_J	-40 to +100	$^\circ\text{C}$
Ambient Operating Temperature Range ⁽²⁾	T_A	-40 to +85	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range ⁽²⁾	T_{stg}	-40 to +150	$^\circ\text{C}$
Soldering Temperature (10 s)	T_L	260	$^\circ\text{C}$

1. Isolation surge voltage, V_{ISO} , is an internal device dielectric breakdown rating.

For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.

2. Refer to Quality and Reliability Section in Opto Data Book for information on test conditions.

Preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value.

GlobalOptoisolator is a trademark of Motorola, Inc.

(Replaces MOC3040/D)

MOC3041
[IFT = 16 mA Max]
MOC3042
[IFT = 10 mA Max]
MOC3043*
[IFT = 6 mA Max]

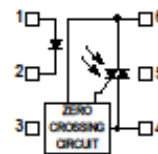
*Motorola Preferred Device

STYLE 6 PLASTIC



STANDARD THRU HOLE
CASE 730A-04

COUPLER SCHEMATIC



1. ANODE
2. CATHODE
3. NC
4. MAIN TERMINAL
5. SUBSTRATE
DO NOT CONNECT
6. MAIN TERMINAL

3.5. Anexo E: Hoja de datos triac BTA12



BTA12, BTB12, T12xx

12 A Snubberless™, logic level and standard triacs

Features

- Medium current triac
- Low thermal resistance with clip bonding
- Low thermal resistance insulation ceramic for insulated BTA
- High commutation (4Q) or very high commutation (3Q) capability
- BTA series UL1557 certified (File ref: 81734)
- Packages are RoHS (2002/95/EC) compliant

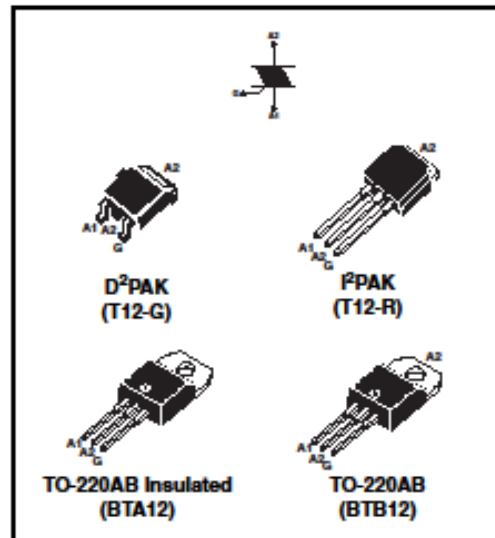
Applications

ON/OFF or phase angle function in applications such as static relays, light dimmers and appliance motors speed controllers.

The snubberless versions (BTA/BTB...W and T12 series) are especially recommended for use on inductive loads, because of their high commutation performances. The BTA series provides an insulated tab (rated at 2500 V RMS).

Description

Available either in through-hole or surface-mount packages, the BTA12, BTB12 and T12xx triac series is suitable for general purpose mains power AC switching.



Order code

See [Ordering information on page 11](#)

Table 1. Device summary

Symbol	Parameter	T12xx	BTA12 ⁽¹⁾	BTB12
$I_{T(RMS)}$	RMS on-state current	12	12	12
V_{DRM}/V_{RRM}	Repetitive peak off-state voltage	600/800	600/800	600/800
I_{GT} (Snubberless)	Triggering gate current	10/35/50	5/10/35/50	5/10/35/50
I_{GT} (Standard)	Triggering gate current	-	35/50	35/50

1. Insulated

TM: Snubberless is a trademark of STMicroelectronics

September 2007

Rev 9

1/12

www.st.com

Fuente: (STMicroelectronics, 2007)

3.6. Anexo F: Hoja de datos MBR260HW



MBR260HW

Technical Data
Data Sheet N1503, Rev.B



MBR260HW SURFACE MOUNT SCHOTTKY BARRIER DIODE



Features

- 125°C T_J operation
- Low forward voltage drop
- High purity, high temperature epoxy encapsulation for enhanced mechanical strength and moisture resistance
- High frequency operation
- Guard ring for enhanced ruggedness and long term reliability
- Terminals finish: 100% Pure Tin
- This is a Pb – Free Device
- All SMC parts are traceable to the wafer lot
- Additional testing can be offered upon request

Circuit Diagram



Mechanical Data

- Case: SOD-123, Molded Plastic
- Terminals: Plated Leads Solderable per MIL-STD-202, Method 208
- Polarity: Cathode Band
- Weight: 0.01 grams(approx)
- Marking code: L26

Maximum Ratings and Electrical Characteristics @T_A=25°C unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Value	Units
Peak Repetitive Reverse Voltage Working Peak Reverse Voltage DC Blocking Voltage	V _{RRM} V _{RWM} V _R	60	V
Average Rectified Forward Current (At Rated V _R , T _L = 55° C)	I _O	2	A
Forward Voltage @I _F = 1A, T _A = 25°C @I _F = 2A, T _A = 25°C	V _{FM}	0.52 0.66	V
Peak Reverse Current @T _A = 25°C	I _{RM}	50	µA
Non-Repetitive Peak Surge Current (Surge Applied at Rated Load Conditions Half-wave, Single Phase, 60 Hz)	I _{FSM}	30	A
Maximum Junction Capacitance (Note 1)	C _J	100	pF
Operating Junction Temperature Range	T _J	125	°C
Storage Temperature Range	T _{STG}	-55 to +150	°C

Note 1. Measured at 1MHz and applied reverse voltage of 5.0V D.C.

- China - Germany - Korea - Singapore - United States •
- <http://www.smc-diodes.com> - sales@smc-diodes.com •

Fuente: (SMC Diode Solutions)

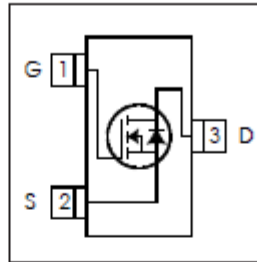
3.7. Anexo G: Hoja de datos IRLML6344TRPbF

International
IR Rectifier

IRLML6344TRPbF

HEXFET® Power MOSFET

V_{DS}	30	V
$V_{GS Max}$	± 12	V
$R_{DS(on) max}$ (@ $V_{GS} = 4.5V$)	29	mΩ
$R_{DS(on) max}$ (@ $V_{GS} = 2.5V$)	37	mΩ



Application(s)

- Load/ System Switch

Features and Benefits

Low $R_{DS(on)}$ (<29mΩ)
Industry-standard SOT-23 Package
RoHS compliant containing no lead, no bromide and no halogen
MSL1, Consumer Qualification

results in

Benefits

Lower Conduction Losses
Multi-vendor compatibility
Environmentally friendly
Increased Reliability

Base Part Number	Package Type	Standard Pack		Orderable Part Number
		Form	Quantity	
IRLML6344TRPbF	Micro3™ (SOT-23)	Tape and Reel	3000	IRLML6344TRPbF

Absolute Maximum Ratings

Symbol	Parameter	Max.	Units
V_{DS}	Drain-Source Voltage	30	V
I_D @ $T_A = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	5.0	A
I_D @ $T_A = 70^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	4.0	
I_{DM}	Pulsed Drain Current	25	
P_D @ $T_A = 25^\circ C$	Maximum Power Dissipation	1.3	W
P_D @ $T_A = 70^\circ C$	Maximum Power Dissipation	0.8	
	Linear Derating Factor	0.01	
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 12	V
T_J, T_{STG}	Junction and Storage Temperature Range	-55 to + 150	°C

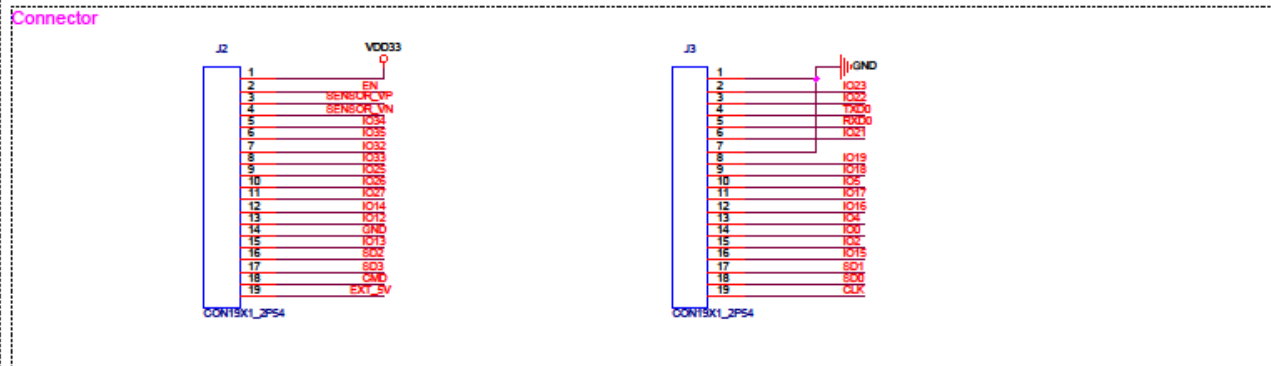
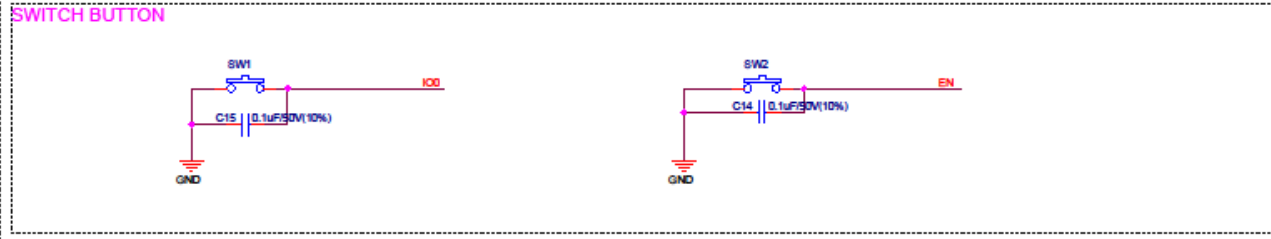
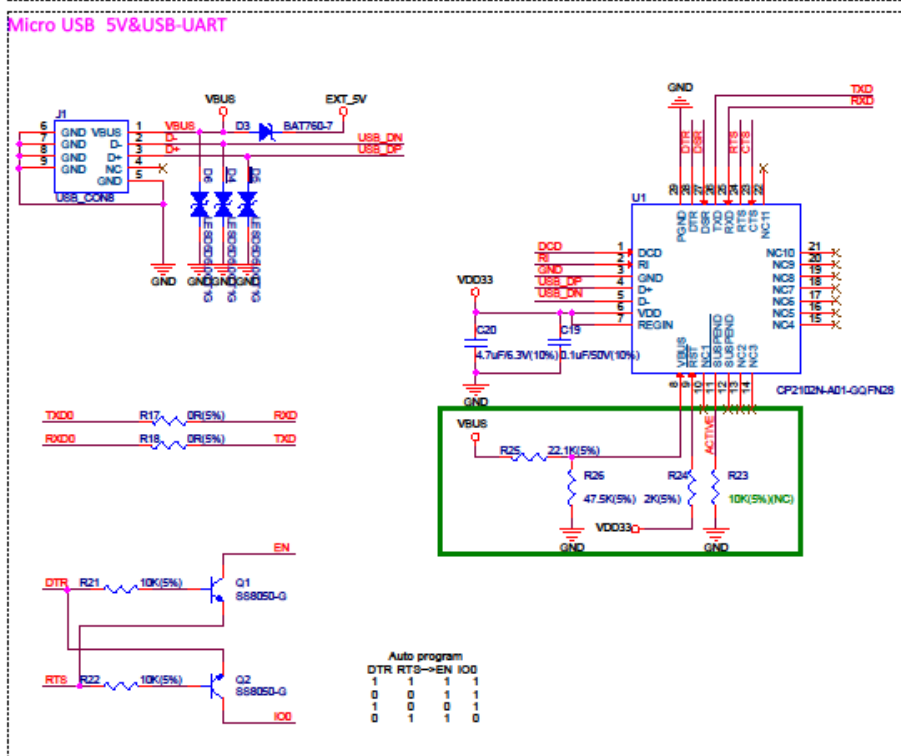
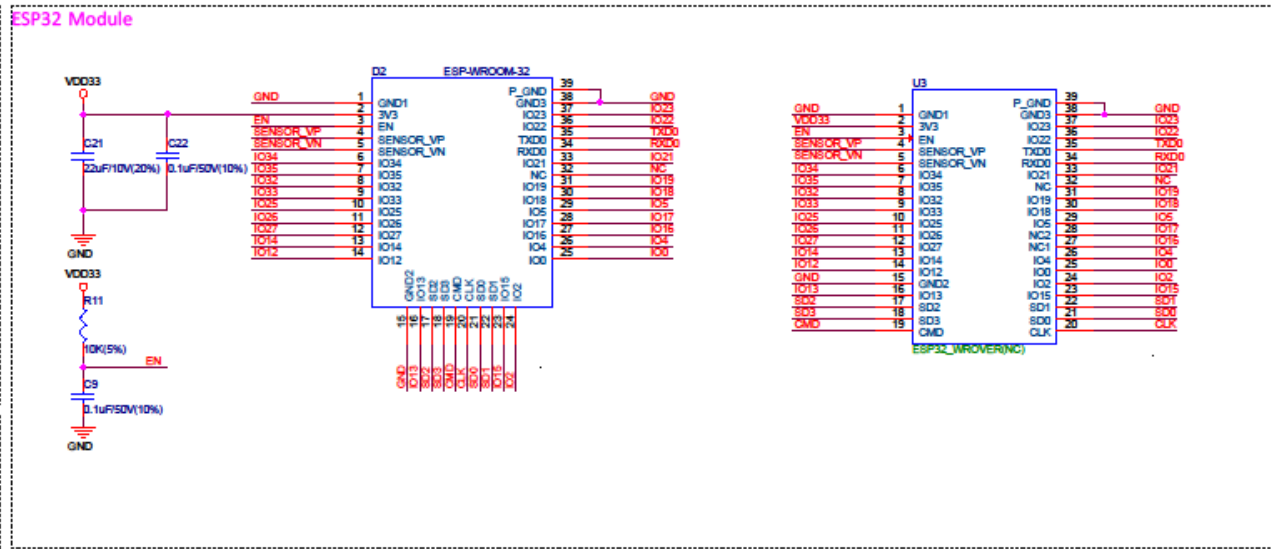
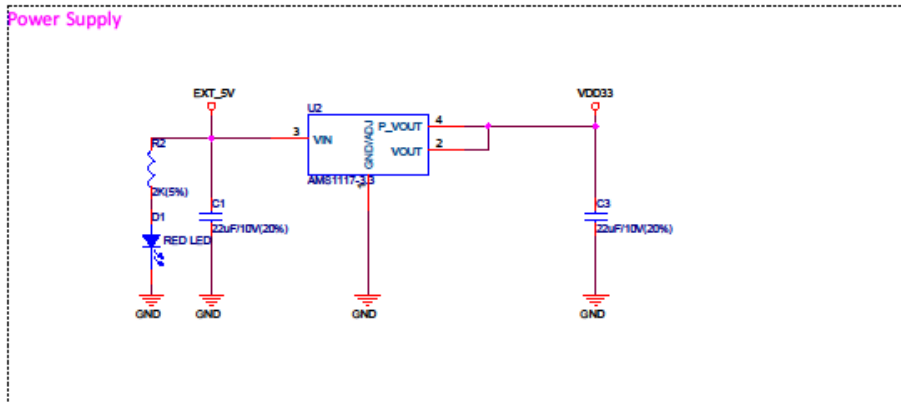
Thermal Resistance

Symbol	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient ①	—	100	°C/W
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient (t<10s) ②	—	99	

ORDERING INFORMATION:

See detailed ordering and shipping information on the last page of this data sheet.


3.8. Anexo H: Esquemático para desarrollo




Fuente: (Espressif, 2017)



3.9. Anexo I: Hoja de datos de reguladores de voltaje LM78XX



September 2014



LM78XX / LM78XXA

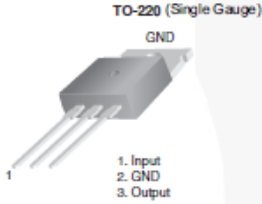
3-Terminal 1 A Positive Voltage Regulator

Features

- Output Current up to 1 A
- Output Voltages: 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 24 V
- Thermal Overload Protection
- Short-Circuit Protection
- Output Transistor Safe Operating Area Protection

Description

The LM78XX series of three-terminal positive regulators is available in the TO-220 package and with several fixed output voltages, making them useful in a wide range of applications. Each type employs internal current limiting, thermal shut-down, and safe operating area protection. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1 A output current. Although designed primarily as fixed-voltage regulators, these devices can be used with external components for adjustable voltages and currents.



TO-220 (Single Gauge)

1. Input
2. GND
3. Output

Ordering Information⁽¹⁾

Product Number	Output Voltage Tolerance	Package	Operating Temperature	Packing Method
LM7805CT	±4%	TO-220 (Single Gauge)	-40°C to +125°C	Rail
LM7806CT				
LM7808CT				
LM7809CT				
LM7810CT				
LM7812CT				
LM7815CT				
LM7818CT				
LM7824CT				
LM7805ACT	±2%		0°C to +125°C	
LM7809ACT				
LM7810ACT				
LM7812ACT				
LM7815ACT				

Note:
1. Above output voltage tolerance is available at 25°C.

© 2006 Fairchild Semiconductor Corporation
LM78XX / LM78XXA Rev. 1.3.1

www.fairchildsemi.com

LM78XX / LM78XXA — 3-Terminal 1 A Positive Voltage Regulator

Fuente: (Fairchild, 2006)

Block Diagram

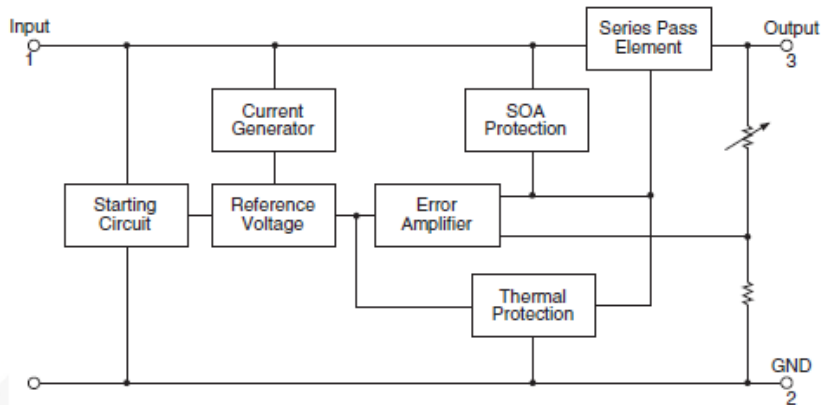


Figure 1. Block Diagram

Absolute Maximum Ratings

Stresses exceeding the absolute maximum ratings may damage the device. The device may not function or be operable above the recommended operating conditions and stressing the parts to these levels is not recommended. In addition, extended exposure to stresses above the recommended operating conditions may affect device reliability. The absolute maximum ratings are stress ratings only. Values are at $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Value	Unit	
V_I	Input Voltage	$V_O = 5\text{ V to }18\text{ V}$	35	V
		$V_O = 24\text{ V}$	40	
$R_{\theta JC}$	Thermal Resistance, Junction-Case (TO-220)	5	$^\circ\text{C/W}$	
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction-Air (TO-220)	65	$^\circ\text{C/W}$	
T_{OPR}	Operating Temperature Range	LM78xx	-40 to +125	$^\circ\text{C}$
		LM78xxA	0 to +125	
T_{STG}	Storage Temperature Range	-65 to +150	$^\circ\text{C}$	

Electrical Characteristics (LM7805)Refer to the test circuit, $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $V_I = 10\text{ V}$, $C_I = 0.1\text{ }\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	4.80	5.00	5.20	V
		$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $P_O \leq 15\text{ W}$, $V_I = 7\text{ V to }20\text{ V}$	4.75	5.00	5.25	
Regline	Line Regulation ⁽²⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 7\text{ V to }25\text{ V}$	4.0	100.0	mV
			$V_I = 8\text{ V to }12\text{ V}$	1.6	50.0	
Regload	Load Regulation ⁽²⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$	9.0	100.0	mV
			$I_O = 250\text{ mA to }750\text{ mA}$	4.0	50.0	
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$		5	8	mA
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ $V_I = 7\text{ V to }25\text{ V}$		0.03	0.50	mA
				0.30	1.30	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽³⁾	$I_O = 5\text{ mA}$		-0.8		mV/ $^{\circ}\text{C}$
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$		42		μV
RR	Ripple Rejection ⁽³⁾	$f = 120\text{ Hz}$, $V_I = 8\text{ V to }18\text{ V}$	62	73		dB
V_{DROP}	Dropout Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$, $I_O = 1\text{ A}$		2		V
R_O	Output Resistance ⁽³⁾	$f = 1\text{ kHz}$		15		m Ω
I_{SC}	Short-Circuit Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$, $V_I = 35\text{ V}$		230		mA
I_{PK}	Peak Current ⁽³⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$		2.2		A

Notes:

- Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.
- These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Fuente: (Fairchild, 2006)

Electrical Characteristics (LM7812)

Refer to the test circuit, $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $V_I = 19\text{ V}$, $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	11.5	12.0	12.5	V	
		$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $P_O \leq 15\text{ W}$, $V_I = 14.5\text{ V to }27\text{ V}$	11.4	12.0	12.6		
Regline	Line Regulation ⁽¹²⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 14.5\text{ V to }30\text{ V}$		10	240	mV
			$V_I = 16\text{ V to }22\text{ V}$		3	120	
Regload	Load Regulation ⁽¹²⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$		11	240	mV
			$I_O = 250\text{ mA to }750\text{ mA}$		5	120	
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$		5.1	8.0	mA	
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ $V_I = 14.5\text{ V to }30\text{ V}$		0.1	0.5	mA	
				0.5	1.0		
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽¹³⁾	$I_O = 5\text{ mA}$		-1		mV/°C	
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$		76		μV	
RR	Ripple Rejection ⁽¹³⁾	$f = 120\text{ Hz}$, $V_I = 15\text{ V to }25\text{ V}$	55	71		dB	
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$		2		V	
R_O	Output Resistance ⁽¹³⁾	$f = 1\text{ kHz}$		18		m Ω	
I_{SC}	Short-Circuit Current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$		230		mA	
I_{PK}	Peak Current ⁽¹³⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$		2.2		A	

Notes:

12. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

13. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Fuente: (Fairchild, 2006)

Typical Applications

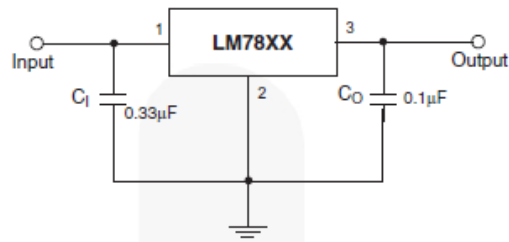


Figure 6. DC Parameters

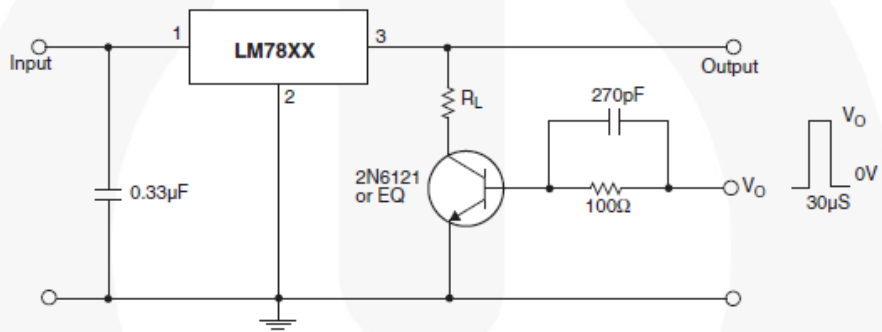


Figure 7. Load Regulation

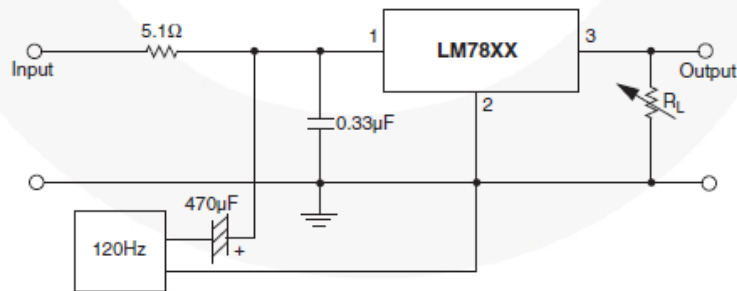


Figure 8. Ripple Rejection

Fuente: (Fairchild, 2006)

3.10. Anexo J: Hoja de datos de shift register 74HC595

8-bit serial-in, serial or parallel-out shift register with output latches; 3-state

74HC595; 74HCT595

FEATURES

- 8-bit serial input
- 8-bit serial or parallel output
- Storage register with 3-state outputs
- Shift register with direct clear
- 100 MHz (typical) shift out frequency
- ESD protection:
HBM EIA/JESD22-A114-A exceeds 2000 V
MM EIA/JESD22-A115-A exceeds 200 V.

APPLICATIONS

- Serial-to-parallel data conversion
- Remote control holding register.

DESCRIPTION

The 74HC/HCT595 are high-speed Si-gate CMOS devices and are pin compatible with low power Schottky TTL (LSTTL). They are specified in compliance with JEDEC standard no. 7A.

The 74HC/HCT595 is an 8-stage serial shift register with a storage register and 3-state outputs. The shift register and storage register have separate clocks.

Data is shifted on the positive-going transitions of the SH_CP input. The data in each register is transferred to the storage register on a positive-going transition of the ST_CP input. If both clocks are connected together, the shift register will always be one clock pulse ahead of the storage register.

The shift register has a serial input (DS) and a serial standard output (Q7') for cascading. It is also provided with asynchronous reset (active LOW) for all 8 shift register stages. The storage register has 8 parallel 3-state bus driver outputs. Data in the storage register appears at the output whenever the output enable input (OE) is LOW.

QUICK REFERENCE DATA

GND = 0 V; T_{amb} = 25 °C; t_r = t_f = 6 ns.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	TYPICAL		UNIT
			74HC	74HCT	
t _{PHL} /t _{PLH}	propagation delay SH_CP to Q7'	C _L = 50 pF; V _{CC} = 4.5 V	19	25	ns
	SH_CP to Qn		20	24	ns
	MR to Q7'		100	52	ns
f _{max}	maximum clock frequency SH_CP and ST_CP		100	57	MHz
C _I	input capacitance		3.5	3.5	pF
C _{PD}	power dissipation capacitance per package	notes 1 and 2	115	130	pF

Notes

1. C_{PD} is used to determine the dynamic power dissipation (P_D in μW).
 $P_D = C_{PD} \times V_{CC}^2 \times f_i \times N + \sum(C_L \times V_{CC}^2 \times f_o)$ where:
 f_i = input frequency in MHz;
 f_o = output frequency in MHz;
 C_L = output load capacitance in pF;
 V_{CC} = supply voltage in Volts;
 N = total load switching outputs;
 $\sum(C_L \times V_{CC}^2 \times f_o)$ = sum of the outputs.
2. For 74HC595 the condition is V_I = GND to V_{CC}.
 For 74HCT595 the condition is V_I = GND to V_{CC} - 1.5 V.



ANEXO 4: ASPECTOS ADMINISTRATIVOS

4.1. Presupuesto del proyecto

En la Tabla 19 se describe detalladamente el costo del proyecto en general, tomando en cuenta los diversos componentes del lector electrónico. Este costo incluyó tanto el prototipado, tiempo de ingeniería y el producto final.

Tabla 19.

Tabla de costos del proyecto

Fuente: Elaboración propia

Cantidad	Descripción	Presupuesto
Carcasa		
1	Rollo de PLA 1kg	S/ 70,00
1	Rollo de ABS 1kg	S/ 70,00
1	Servicio de impresión	S/ 250,00
Actuador		
60	Imán de neodimio 5x5x5mm	S/ 70,00
60	Resorte de \varnothing 0.1mm x 10mm largo	S/ 220,00
2	Rollo de 250gr de cobre esmaltado 33AWG	S/ 70,00
1	Servicio de impresión	S/ 200,00
1	Rollo de cinta para alta temperatura	S/ 10,00
Electrónica		
1	Microcontrolador ESP32	S/ 40,00
1	Batería de 12 VDC	S/ 52,00
1	Cables USB para ESP32	S/ 35,00
1	Memoria micro SD	S/ 30,00
1	Fuente de 12 VDC	S/ 50,00
1	Servicio de manufactura y ensamblaje superior PCB	S/ 912,00
1	Espadines para PCB	S/ 15,00
1	Resistencias de valor variado SMT	S/ 60,00
40	Shift register	S/ 20,00
10	Conector plug para entrada de voltaje	S/ 5,00
5	Adaptador de enchufe a memoria micro SD	S/ 30,00
5	Buffer cuádruple de 3 estados para SD	S/ 30,00
5	Convertor UART a USB	S/ 60,00
Otros		
1	Estación de soldar	S/ 280,00
60	Leds para tarjeta de pruebas	S/ 18,00
60	Resistencia de 100k Ω	S/ 5,00
576	Horas de trabajo de ingeniería	S/ 4600,00
Total		S/ 7292,00

4.2. Presupuesto un dispositivo de lectura

En la Tabla 20 se describen detalladamente los costos de fabricación de un dispositivo de lectura electrónico de código Braille.

Tabla 20.

Tabla de costos de un dispositivo de lectura

Fuente: Elaboración propia

Cantidad	Descripción	Presupuesto
Carcasa		
1	Rollo de PLA 1kg	S/ 70,00
1	Servicio de impresión	S/ 170,00
Actuador		
60	Imán de neodimio 5x5x5mm	S/ 25,00
60	Resorte de Ø 0.1mm x 10mm largo	S/ 220,00
1	Rollo de 250gr de cobre esmaltado 33AWG	S/ 25,00
1	Servicio de impresión	S/ 130,00
1	Rollo de cinta para alta temperatura	S/ 10,00
Electrónica		
1	Batería de 12 VDC	S/ 52,00
1	Memoria micro SD 32GB	S/ 21,00
1	Fuente de 12 VDC	S/ 50,00
1	Servicio de manufactura y ensamblaje superior PCB	S/ 183,00
1	Espadines para PCB	S/ 5,00
1	Resistencias de valor variado SMT	S/ 2,00
8	Shift register	S/ 4,00
1	Conector plug para entrada de voltaje	S/ 0,50
1	Adaptador de enchufe a memoria micro SD	S/ 6,00
1	Buffer cuádruple de 3 estados para SD	S/ 6,00
Total		S/ 999,50