

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS
AVANZADOS DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

UNIDAD ZACATENCO
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
SECCIÓN DE BIOELECTRÓNICA

Sistema mecatrónico de entrenamiento y enseñanza del braille
de un caracter, enlazado a un *smartphone*

Tesis que presenta

Erick Nandayapa Castañeda

para obtener el Grado de

Maestro en Ciencias

en la Especialidad de

Ingeniería Eléctrica

Director de la Tesis: Dr. Arturo Minor Martínez

Ciudad de México

Noviembre 2018

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo brindado durante mis estudios de maestría.

Al Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV), por permitirme ser parte de él y brindarme los medios para la realización de este trabajo. En especial quiero dar gracias a mi tutor el Dr. Arturo Minor Martínez por darme la oportunidad de integrarme a su grupo de trabajo, ofreciéndome siempre su apoyo y orientación.

De igual forma quiero agradecer de gran manera a Discapacitados visuales I.A.P. ya que sin ellos parte de esta investigación no habría podido continuar.

Reconocimientos a Irwin Rosales García y a José Rosas Ortiz por su ayuda en la construcción del prototipo y por compartir sus ideas y conocimientos durante este proyecto.

A Paty Peña por su ayuda y excelente trabajo en todos los trámites administrativos que llegaron a surgir durante la maestría y sobre todo por su gran amabilidad.

Gratitudes a todas las personas que conocí durante este proceso como Frank, Michel, Ángeles forjando una buena amistad con ellos y ofreciéndome su apoyo en diferentes situaciones, a mis amigos del laboratorio Dalia por estar siempre ahí en los momentos más importantes, a Reynaldo y Salvador por su ayuda y consejos, a Perla por mostrarme que la alegría y una buena actitud deben de ser parte de cada día, a Juan e Iván por formar parte de este equipo de trabajo.

Finalmente quiero agradecer a mi familia, por su apoyo y confianza que me brindan siempre para poder continuar con mis sueños. Tania Esmeralda Ruiz José gracias por esperar tanto y ser parte de mí.

Tabla de contenido

1. Introducción	1
1.1 Discapacidad visual.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.3 Objetivo general.....	4
1.4 Objetivos particulares.....	4
2. Antecedentes.....	5
2.1 Características de una celda braille	6
2.2 Sistema de escritura braille	7
3. Estado del arte.....	10
3.1 Dispositivos en el mercado	10
3.1.1 ALVA BC640.....	10
3.1.2 ESYS 12	11
3.1.3 DOT SMARTWATCH.....	12
3.1.4 HYPERBRAILLE S DISPLAY 6240	13
3.2 Dispositivos en desarrollo	14
3.2.1 Pandabrilie.....	14
3.2.2 <i>Braille display by rotating multi-octagonal segment</i>	15
3.2.3 <i>Braille Refreshable Display Using Lead Screw Actuation</i>	16
3.2.4 <i>Development of OCR system on android platforms to aid reading with a refreshable braille display in real time</i>	17
4. Desarrollo	18
4.1 Interfaz Braille	21
4.1.1 Sistema mecánico.....	21
4.1.2 Sistema de control	24
4.1.3 Sistema de comunicación bluetooth	28
4.2 Control de Mando.....	31
4.2.1 Sistema desarrollado en plataforma Android.....	32
4.2.2 Sistema desarrollado en plataforma Linux y Windows.....	43
5. Pruebas	46
5.1 Prueba de reconocimiento de puntos en la celda braille.....	46

5.2 Prueba de reconocimiento de caracteres (letras).....	48
5.3 Prueba de reconocimiento de palabras.....	50
6. Resultados.....	51
6.1 Prueba de reconocimiento de puntos en la celda braille.....	51
6.2 Prueba de reconocimiento de caracteres (letras).....	53
6.3 Prueba de reconocimiento de palabras.....	54
7. Discusión:	55
8. Conclusiones y perspectivas	56
9. Referencias.....	58
10. Apéndices.....	60
10.1 Encuesta de satisfacción	60
10.2 Prueba de reconocimiento de punto	63
10.3 Prueba de reconocimiento de letras.....	64
10.4 Prueba de reconocimiento de palabras.....	65

Tabla de figuras

Fig. 1 Porcentaje de discapacidad en México (INEGI censos y conteos de población y vivienda 2010) [2].	2
Fig. 2 Numeración estándar de la celda braille (Comisión de braille española ONCE 2005) [5]	7
Fig. 3 Alfabeto español (Signografía básica ONCE 2005) [5]	8
Fig. 4 Alfabeto braille en español (Signografía básica ONCE 2005) [5].	8
Fig. 5 Números arábigos (Signografía básica ONCE 2005) [5].	9
Fig. 6 Signografía de números arábigos formados por dos o más dígitos (ONCE 2015) [5].	9
Fig. 7 Signografía de números arábigos en millares (ONCE 2015) [5].	9
Fig. 8 Parámetros dimensionales del braille para la correcta diferenciación de los caracteres (ONCE 2013) [9]	6
Fig. 9 AIVA BC640 (terminal braille para navegación en el ordenador)	10
Fig. 10 ESYS 12 (terminal braille para navegación en el ordenador)	11
Fig. 11 DOT (smartwatch con salida braille, permite lectura de diferentes notificaciones)	12
Fig. 12 HYPERBRAILLE S DISPLAY 6240 (display braille para la visualización táctil de diferentes figuras)	13
Fig. 13 Pandabraille a) diagrama de flujo, b) prototipo implementado, c) electrodos para estimulación háptica.	14
Fig. 14 a) disco octogonal que compone las combinaciones posibles de media celda braille, b) sistema octogonal ensamblado	15
Fig. 15 Diagrama de flujo implementado (Braille display by rotating multi-octagonal segment).	15
Fig. 16 Principio mecánico implementado (tornillo sin fin), b) prototipo implementado (métricas diferentes a la ONCE).	16
Fig. 17 Diagrama electrónico implementado (Braille Refreshable Display Using Lead Screw Actuation)	16
Fig. 18 sistema piezoeléctrico empleado es desarrollado por la compañía METEC (modelo P20).	17

Fig. 19 Diagrama de flujo implementado	17
Fig. 20 Diseño propuesto del proyecto (celda braille)	18
Fig. 21 Diagrama de flujo general del proyecto	19
Fig. 22 Desglose mecánico implementado.....	21
Fig. 23 Tapa superior	22
Fig. 24 Acople mecánico para la transferencia de movimiento	22
Fig. 25 Conversión de movimiento rotacional a lineal	23
Fig. 26 Ensamble mecánico implementado.....	23
Fig. 27 Diagrama de flujo implementado en el sistema de control	24
Fig. 28 ATmega328P-AU (8-bit AVR). Encapsulado TQFP32.....	25
Fig. 29 Diagrama electrónico implementado	26
Fig. 30 Diagrama de flujo del firmware implementado en el microcontrolador	27
Fig. 31 Modulo bluetooth HC-05.....	28
Fig. 32 Diagrama electrónico para la conexión bluetooth.....	29
Fig. 33 Prototipo desarrollado (interfaz braille).....	30
Fig. 34 Diseño electrónico implementado EAGLE 8.6.3.....	26
Fig. 35 Slider de presentación (aplicación ALBA)	32
Fig. 36 Módulo de reconocimiento de la celda braille (aplicación alba) y dispositivo desarrollado.....	33
Fig. 37 Módulo de aprendizaje del abecedario (aplicación alba) y dispositivo desarrollado.....	34
Fig. 38 Módulo de lectura (aplicación alba) y dispositivo desarrollado	36
Fig. 39 Interfaz para lectura (los círculos rojos indican los botones para aumentar o disminuir la velocidad de lectura y el tiempo configurado)	36
Fig. 40 Interfaz para lectura (permitan cambiar el cursor de lectura)	37
Fig. 41 Modulo para carga de libros a biblioteca ALBA.....	38
Fig. 42 Modulo de aprendizaje de notas musicales.....	39
Fig. 43 Diagrama de usos para los módulos de entrenamiento (reconocimiento celda braille, abecedario, notas musicales)	40
Fig. 44 Diagrama de usos para módulo de lectura.....	40
Fig. 45 Diagrama de usos para la carga de archivos a biblioteca ALBA	41

Fig. 46 Diagrama de clases app ALBA.....	42
Fig. 47 Diagrama de flujo implementado (lenguaje Python 2.7).....	45
Fig. 48 Resultado de la conversión de archivos con extensión .pdf a texto simple ..	44
Fig. 49 Porcentaje de aciertos en pruebas de detección en puntos (2s,3s,4s)	51
Fig. 50 Porcentaje de errores por tipo (error por desplazamiento, error por rotación, error por tiempo, error combinado, error por omisión de puntos)	52
Fig. 51 Porcentaje de aciertos (paciente 1, paciente 2) pruebas a 2s, 2.5s, 3s, tiempo libre.....	53
Fig. 52 Porcentaje de errores por tipo (error por omisión de puntos, error por traslado de puntos, error por rotación de puntos, errores combinados)	53
Fig. 53 Porcentaje de aciertos, prueba de reconocimiento de palabras (sujetos invidentes)	54

Resumen

La discapacidad es una parte de la condición humana. Donde casi todas las personas en algún punto de su vida tendrán una discapacidad ya sea temporal o permanente. A medida que la demografía de las sociedades cambia y más personas alcanzan una edad más avanzada, el problema de la discapacidad aumenta. Por ello es importante desarrollar políticas, herramientas y tecnologías que enfrenten las necesidades de personas con discapacidad.

En esta tesis se presenta el desarrollo de un dispositivo braille para la enseñanza y adquisición de la información escrita digital, el cual se propone como una alternativa tecnológica que coadyuve a profesores y familiares de personas con discapacidad visual durante el proceso de aprendizaje de lenguaje braille.

El sistema está constituido de manera modular por:

1. Central de mando (controlada por el profesor).
2. Sistema de celdas para lecturas, actualizable en el tiempo.

El dispositivo de enseñanza braille, integra diferentes áreas para el desarrollo del alumno como son el reconocimiento de la celda braille, el alfabeto, la música y la lectura.

El trabajo se dividió en dos partes, en donde la primera parte corresponde al desarrollo del sistema electromecánico para la interfaz con el usuario y la segunda parte describe el desarrollo del *software* de control de la interfaz de mando.

Los resultados experimentales demuestran que el sistema es confiable y puede integrarse a un proceso educativo.

Abstract.

Disability is a part of the human condition. Almost all people at some point in their life will have a disability whether temporary or permanent. As the demographics of societies change and more people reach a more advanced age, the problem of disability increases. It is therefore important to develop policies, tools and technologies that address the needs of people with disabilities.

This thesis presents the development of a braille device for the teaching and acquisition of digital written information, it is proposed as a technological alternative that helps teachers and family members of people with visual disabilities during the learning process of braille language.

The system is constituted in a modular way by:

1. Control center (controlled by the teacher)
2. System of cells for readings, updatable in time

It integrates different areas for student development such as the recognition of the braille cell, alphabet, music, reading.

The work is divided into two parts. The first part corresponds to the development of the electromechanical system for the interface with the user, the second part describes the development of the control software of the control interface.

The results in the experimentation show that the system is reliable and can be integrated into an educational process.

1. Introducción

1.1 Discapacidad visual

La discapacidad visual está relacionada con una deficiencia del sistema de la visión que afecta la agudeza visual, campo visual, motilidad ocular, visión de los colores o profundidad, afectando la capacidad de una persona para ver. Al hablar de discapacidad visual podemos referirnos a la persona que presenta ceguera o baja visión [1].

Ceguera:

Es otra condición de vida que afecta la percepción de imágenes en forma total reduciéndose en ocasiones a una mínima percepción de luz, impidiendo que la persona ciega reciba información visual del mundo que le rodea [2].

Baja visión:

Es una condición de vida que disminuye la agudeza o el campo visual de la persona; es decir, que quienes presentan una baja visión ven significativamente menos que aquéllas que tienen una visión normal [2].

La discapacidad visual representa la segunda causa por discapacidad en México, de esta población más del 40% han sido derivadas de una enfermedad [3]. Desde el año 2000, la diabetes mellitus en México es la primera causa de muerte entre las mujeres y la segunda entre los hombres [4]. La diabetes mellitus aumenta el riesgo de cardiopatías y accidentes cerebrovasculares (como embolia). Además, a largo plazo puede ocasionar:

- Ceguera (debido a las lesiones en los vasos sanguíneos de los ojos).
- Insuficiencia renal (por el daño al tejido de los riñones).
- Impotencia sexual (por el daño al sistema nervioso).
- Amputaciones (por las lesiones que ocasiona en los pies).

El aumento de pacientes con diabetes y la tendencia demográfica actual, se proyecta a mediano plazo un aumento en la cantidad de personas con discapacidad visual. Por tanto, es importante el desarrollo de tecnologías que permitan una mayor inclusión social a las personas con esta discapacidad.

1.2 Planteamiento del problema

En México para el año 2010 existían 4 527 784 personas con algún tipo de limitación; de ellos 2 437 397 presentan una discapacidad para caminar o moverse y 1 292 201 presentan una discapacidad visual [3].

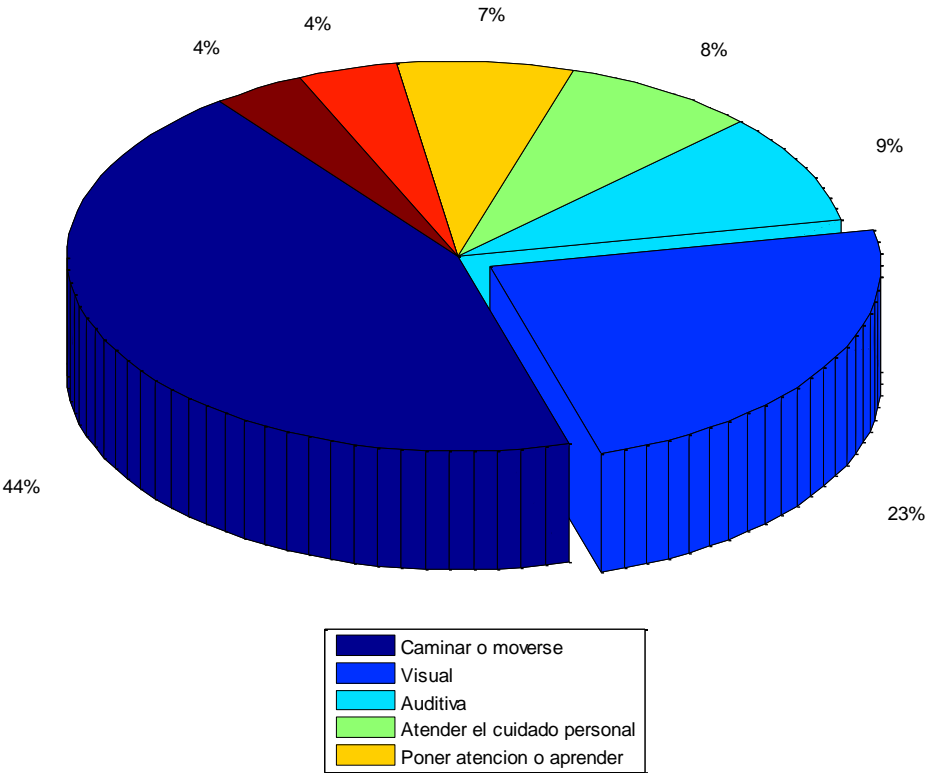


Fig. 1 Porcentaje de discapacidad en México (INEGI censos y conteos de población y vivienda 2010) [2].

El enfoque de la educación inclusiva propuesto en el plan de estudios 2011 en México, pone de manifiesto la importancia de atender a las necesidades específicas mediante ajustes pedagógicos que aseguren el aprendizaje y la participación de todos los alumnos [1].

El apoyo educativo de las personas ciegas requiere del uso de algunas ayudas técnicas como son: libros en sistema Braille, regleta y punzón o máquina Perkins para escribir en Braille, caja aritmética y ábaco, sistemas portátiles de almacenamiento, procesamiento y edición de la información (anotadores parlantes, calculadoras parlantes, computadoras y *software* como el explorador *Jaws*), dibujos, esquemas o mapas con relieves o contornos bien definidos, entre otros apoyos [1].

El procedimiento de impresión del Braille resulta caro, encargándose casi totalmente de su ejecución organizaciones privadas, a menudo con ayuda de subsidios del Estado.

Muchos ejemplares sueltos de libros, generalmente los que necesitan los estudiantes que hacen estudios superiores o los lectores que buscan un enfoque más intelectual, son transcritos en Braille, mediante un sistema manual, por transcritores videntes particulares [5].

1.3 Objetivo general

El objetivo de este trabajo es brindar al discapacitado visual una herramienta que le permita acceso a la información más actualizada, sin la necesidad de que un transcriptor vidente haya realizado previamente esta labor; además de aportar una herramienta educativa para la enseñanza del braille.

1.4 Objetivos particulares

1. Desarrollar un sistema mecatrónico de braille en un carácter, actualizable en el tiempo.
2. Controlar de forma remota al dispositivo por un *smartphone* mediante una aplicación que contenga las siguientes características.
 - a. Permitir la lectura de documentos en formato PDF letra por letra, para ser desplegados automáticamente en formato braille.
 - b. Configurar los intervalos de tiempo para la lectura del usuario.
 - c. Incorporar un sistema de enseñanza para poder traducir caracteres del alfabeto a su correspondiente braille.
3. Diseñar y construir un sistema de acoplamiento ergonómico mano - instrumento para la lectura del braille.

2. Antecedentes

Como se mencionó anteriormente “la discapacidad es una parte de la condición humana” que desde los inicios de la humanidad el hombre ha desarrollado herramientas y técnicas que permitan una mejor inclusión social de estas personas.

Durante el siglo XVIII la educación impartida para personas con discapacidad visual se daba mediante la comunicación oral y en su contra parte escrita, la cual contaba con literatura que contenía un sistema de letras con relieve para poder ser percibidas. Sin embargo, este sistema resultaba difícil de decodificar [5][6].

No fue hasta el siglo XIX cuando Luis Braille desarrolló un sistema de combinaciones de puntos en relieve sobre una sucesión de celdas para dar una decodificación más sencilla a la comunicación escrita. Sin embargo, la comunidad con discapacidad visual no adoptó este sistema hasta muchos años después [6].

El Braille estaba mejor concebido que cualquier otro sistema anterior o posterior, puesto que se caracterizaba por la multiplicidad de aplicaciones a que tanto se presta para expresar las lenguas y escrituras de Europa, Asia y África, y por ser de fácil adaptación a las matemáticas, para la transcripción musical y otros fines.

Durante el siglo XX se crea el consejo mundial del braille para dar solución a los problemas de estandarización del braille, iniciada bajo los auspicios de la Unesco en 1949 [5].

Con el desarrollo digital, las herramientas braille tomaron un nuevo giro creándose dispositivos para usuarios con discapacidad visual, algunos de estos ejemplos se presentan en el capítulo 3.1.

2.1 Características de una celda braille

Los caracteres que forman los signos braille deben tener unas medidas determinadas para su correcta lectura a través del tacto. Como se muestra en la figura 8.

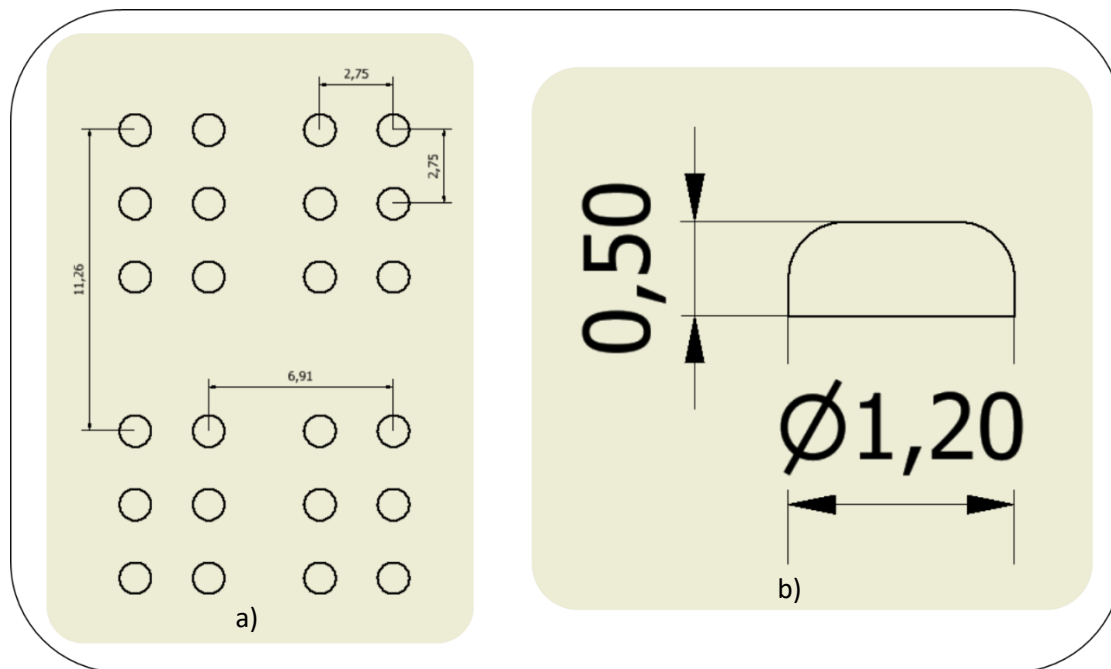


Fig. 2 Parámetros dimensionales del braille para la correcta diferenciación de los caracteres (ONCE 2013) [7]

a) Parámetros dimensionales para celdas braille contiguas.

b) Diámetro y altura recomendada para los puntos braille (vista frontal).

- Distancia horizontal entre los centros de puntos contiguos de la misma celda: de 2.4 a 2.75 mm (Fig. 2a).
- Distancia vertical entre los centros de puntos contiguos de la misma celda: de 2.4 a 2.75 mm (Fig. 2a).
- Distancia entre los centros de puntos idénticos de celdas contiguas: de 6 a 6.91 mm (Fig. 2a).
- Distancia entre los centros de puntos idénticos de líneas contiguas: 10 a 11.26 mm (Fig. 2a).
- Diámetro de la base de los puntos: entre 1.2 y 1.9 mm (Fig. 2b).
- Altura recomendada de los puntos: entre 0.5 y 0.2 mm (Fig. 2b).

2.2 Sistema de escritura braille

El braille es un sistema de escritura adoptado mundialmente para que las personas con discapacidad visual puedan contar con un sistema de lecto-escritura táctil que les permite acceder y compartir información necesaria para su incorporación a actividades cotidianas y su inclusión plena en los contextos educativo, social y laboral.

Consiste esencialmente en la impresión manual, mecánica o informatizada de combinaciones de puntos en relieve sobre una sucesión de celdas braille, con las 63 combinaciones resultantes se pueden representar las distintas letras, números, signos de puntuación y cualesquiera otros de signografías específicas (matemáticas, ajedrez, etc.) que se deseen representar.

Para poder identificar los puntos que constituyen un carácter concreto, se numeran de la siguiente forma, como se muestra en la figura 3.

Celda braille

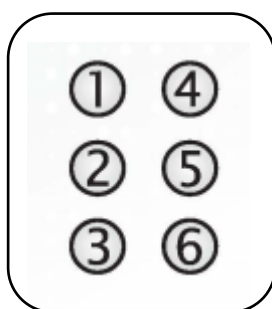


Fig. 3 Numeración estándar de la celda braille (Comisión de braille española ONCE 2005) [8]

La referencia a los caracteres braille se realiza indicando la combinación de puntos que lo integran, utilizando el número de orden asignado a cada punto y siempre de orden ascendente. Para referirse al espacio en blanco, es decir, al carácter que no tiene ningún punto braille, se utiliza el 0.

Alfabeto braille español

a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
1	12	14	145	15	124	1245	125	24	245
k	l	m	n	ñ	o	p	q	r	s
13	123	134	1345	12456	135	1234	12345	1235	234
t	u	v	w	x	y	z			
2345	136	1236	2456	1346	12456	1356			
á	é	í	ó	ú	ü				
12356	2346	34	346	23456	1256				

Fig. 4 Alfabeto español (Signografía básica ONCE 2005) [8].

Signo braille	Puntos braille	Signo tinta	Significado
	3	.	punto ortográfico punto de abreviatura punto de separación de millares
	2	,	coma coma decimal
	23	;	punto y coma
	25	:	dos puntos
	3-3-3	...	puntos suspensivos

Fig. 5 Signos de puntuación (Signografía básica ONCE 2005) [8].

Por otro lado, para escribir los números en braille se utiliza el prefijo formado por los puntos 3, 4, 5, 6 delante de las diez primeras letras del alfabeto.

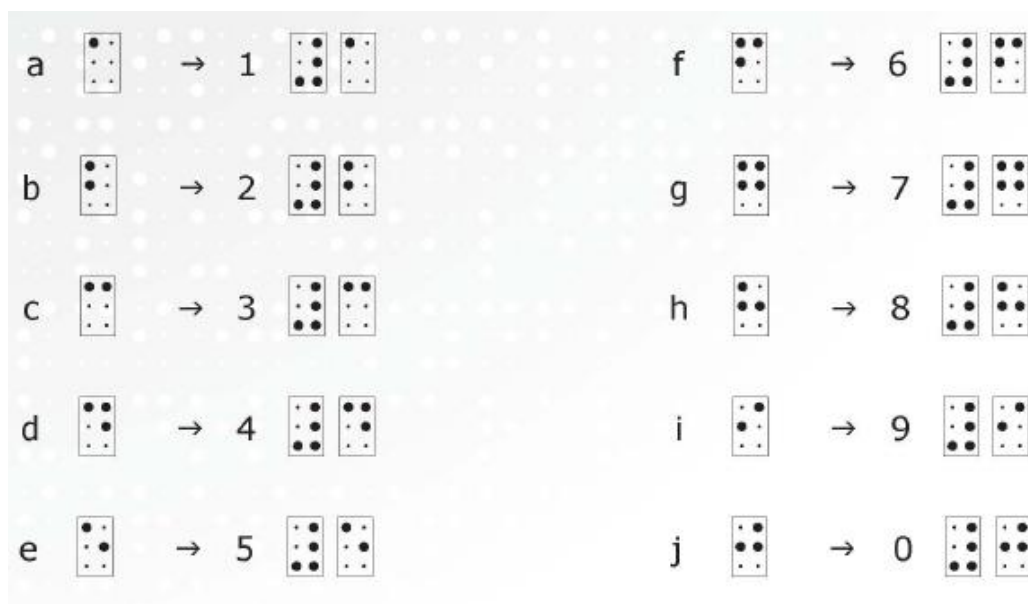


Fig. 6 Números arábigos (Signografía básica ONCE 2005) [8].

Cuando se escriben números formados por más de una cifra, se antecede únicamente el prefijo 3456 por toda la cantidad como se muestra en la figura 6.

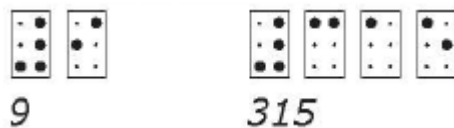


Fig. 7 Signografía de números arábigos formados por dos o más dígitos (ONCE 2015) [8].

Cuando se escriban números formados por más de tres cifras, debe utilizarse el punto 3 como punto de separación de millares como se muestra en la figura 8.

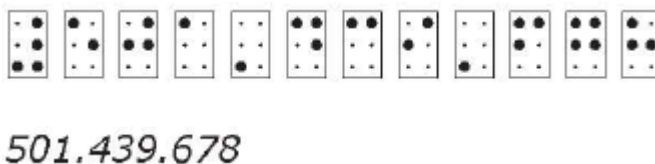


Fig. 8 Signografía de números arábigos en millares (ONCE 2015) [8].

3. Estado del arte

3.1 Dispositivos en el mercado

3.1.1 ALVA BC640

Especificaciones:

- 40 caracteres Braille para lectura.
- 40 teclas bajo la línea Braille para posicionar el cursor.
- Teclado inteligente con 5 teclas de navegación y 4 de función.
- 5 teclas de navegación con el pulgar.
- 4 teclas de navegación.
- 4 GB de memoria interna.
- Posibilidad de incluir tu lector de pantalla favorito.
- Tecnología Bluetooth de largo alcance (hasta 100 metros).
- Batería de Ion-litio, que ofrece hasta 10 horas de uso continuo con función de stand-by automático.
- Puerto USB de alta velocidad.
- Dimensiones: 33.8 x 7.5 x 1.8 cm.
- Peso: 725 g.



Fig. 3 ALVA BC640 (terminal braille para navegación en el ordenador)

3.1.2 ESYS 12

Especificaciones:

- 12,24,40,64 o 80 celdas braille con teclas para proporcionar el cursor
- 10 teclas braille para el teclado
- 2 joysticks y múltiples ruedas *scrolling* dependiendo del modelo.
- Compatibilidad con lectores de pantalla Jaws, VoiceOver, Talk Back, Supernova, Windows-Eyes, Mobile Speak, Cobram, NVDA.
- Conexiones USB, Bluetooth, microSD-card.
- Compatibilidad con sistemas operativos
 - Windows XP,7,8.1 y 10
 - Apple OSx y iOS
 - Android
 - Linux
- Compatible con formatos docx, brl, brf, rtf, txt, dbt.
- Capacidad energética de 17 horas autónoma.



Fig. 4 ESYS 12 (terminal braille para navegación en el ordenador)

3.1.3 DOT SMARTWATCH

Especificaciones

- Lectura de tiempo y fecha.
- Cronometro.
- Temporizador.
- Notificaciones de mensajes de tu *smartphone*.
- Localizador de smartphone.
- Programador de alarmas.
- Compatibilidad con iOS 9 y Android 4.4.4 o posteriores.



Fig. 5 DOT (smartwatch con salida braille, permite lectura de diferentes notificaciones)

3.1.4 HYPERBRAILLE S DISPLAY 6240

Especificaciones

- 370 x 245 x 60 mm (Largo, ancho, espesor)
- 150 x 260 mm de área táctil
- Peso 4.5 kg
- Espacio entre puntos 2.5 mm
- Conexión USB para entrada y salida de datos
- Alimentación de 12V 4
- Compatibilidad con JAWS y Windows Eyes



Fig. 6 HYPERBRAILLE S DISPLAY 6240 (display braille para la visualización táctil de diferentes figuras)

3.2 Dispositivos en desarrollo

3.2.1 Pandabraille

El dispositivo genera señales hápticas por medio de electrodos para simular la percepción de los caracteres braille. A diferencia de los dispositivos de lectura braille actuales que cuentan con un sistema mecánico complejo para el despliegue de los puntos, este diseño permitiría reducir costos, tamaño y consumo de energía.

El circuito empleado modula el pulso de entrada de la base de un transistor, que conmuta un amplificador de audio, la onda generada es multiplexada con un arreglo MOSFETs que alimentan a la red de electrodos. Un microcontrolador es usado para controlar la forma, la frecuencia y el tiempo de los pulsos que activa a cada electrodo.

El dispositivo cuenta con un sensor óptico para brindar al usuario un control de la velocidad y posición de los caracteres desplegados.

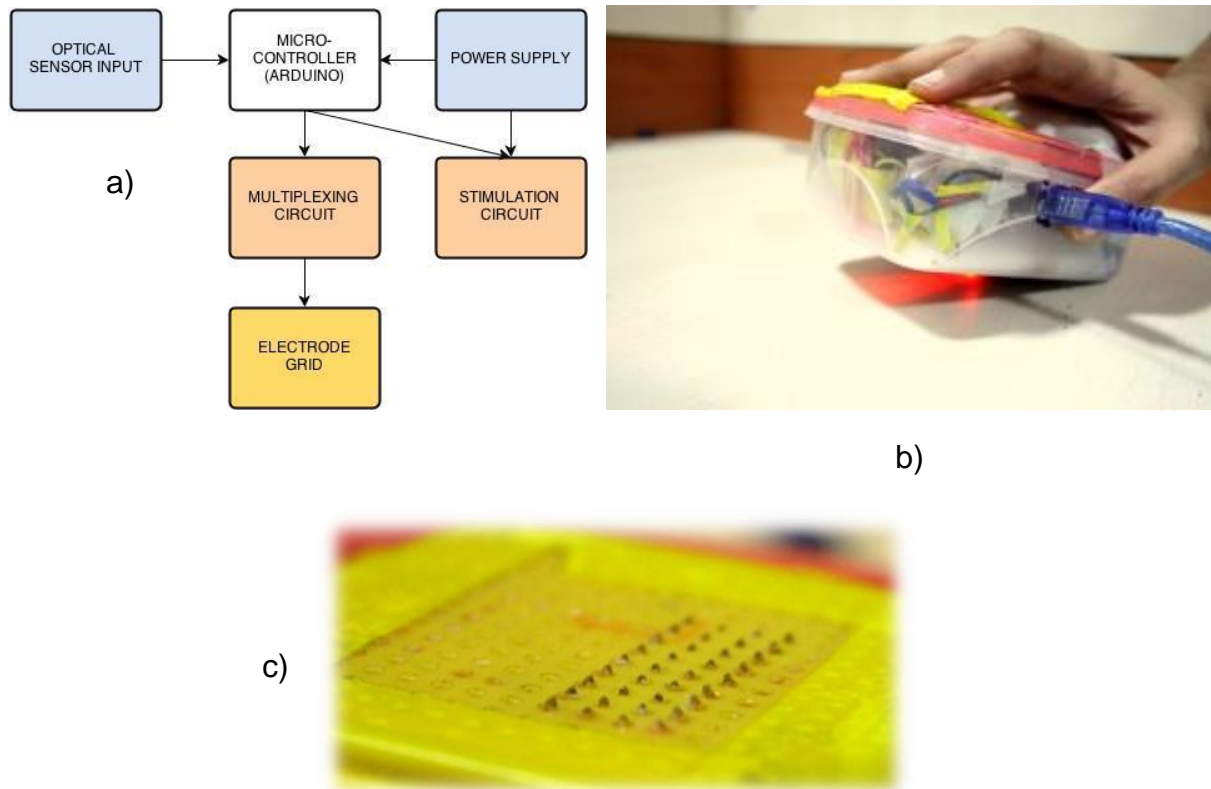


Fig. 7 Pandabraille a) diagrama de flujo, b) prototipo implementado, c) electrodos para estimulación háptica.

3.2.2 Braille display by rotating multi-octagonal segment

El dispositivo permite el despliegue de caracteres braille por medio de un sistema mecánico rotacional compuesto por segmentos octagonales. El texto es convertido a un caracter braille rotando los segmentos octagonales con un ángulo específico [9].

Cada uno de estos segmentos cuenta con todas las combinaciones posibles de puntos para una columna de la celda braille.



Fig. 8 a) disco octogonal que compone las combinaciones posibles de media celda braille, b) sistema octogonal ensamblado

El sistema está conformado por un microcontrolador que gestiona un motor paso a paso de acuerdo con las instrucciones dadas por medio de un ordenador mediante comunicación serial.

El ordenador transforma el texto convencional a su caracter braille estimando el ángulo de giro que debe ser dado para cada uno de los segmentos octagonales.

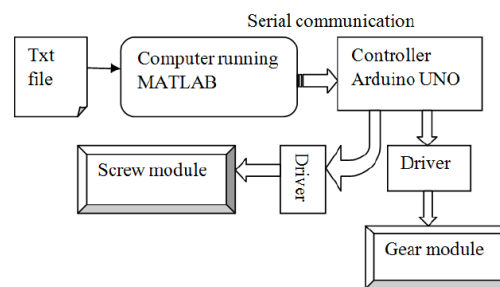


Fig. 9 Diagrama de flujo implementado (Braille display by rotating multi-octagonal segment).

3.2.3 Braille Refreshable Display Using Lead Screw Actuation

El dispositivo permite el despliegue de caracteres braille por medio de un sistema de tornillos sin fin acoplados a motores DC. Este sistema propone como ventaja el bajo consumo debido a la persistencia del caracter braille sin alimentación, así como perspectivas a futuro para miniaturización del sistema [10].

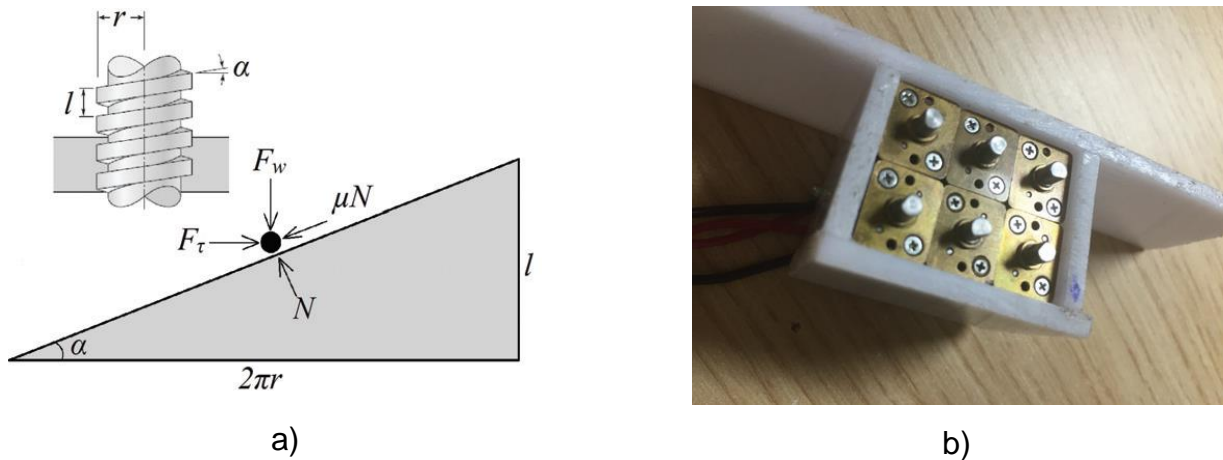


Fig. 10 Principio mecánico implementado (tornillo sin fin), b) prototipo implementado (métricas diferentes a la ONCE)

El sistema de control este compuesto por un microcontrolador en conjunto de un arreglo de puentes H que accionan a los motores DC y controlan su dirección.

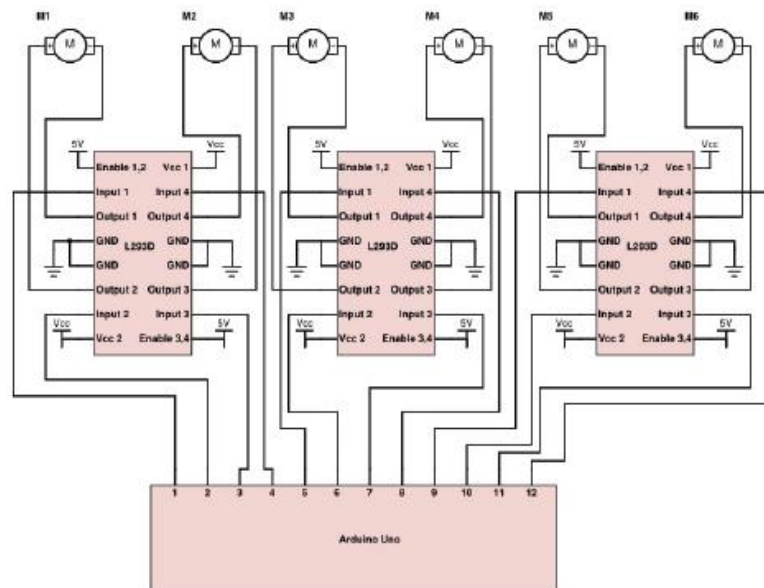


Fig. 11 Diagrama electrónico implementado (Braille Refreshable Display Using Lead Screw Actuation)

3.2.4 Development of OCR system on android platforms to aid reading with a refreshable braille display in real time

El dispositivo permite el despliegue de caracteres braille por medio de un arreglo piezoeléctrico controlado desde un dispositivo Android, además de incorporar un sistema de procesamiento de imágenes para el análisis de texto [11].

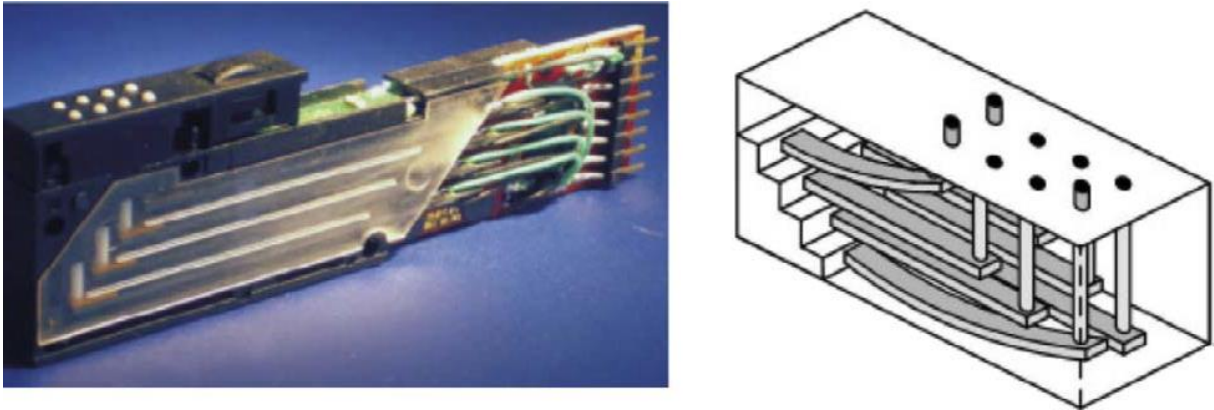


Fig. 12 sistema piezoeléctrico empleado es desarrollado por la compañía METEC (modelo P20).

El sistema está conformado por un microcontrolador que genera una señal PWM para el control del *FLYBACK* de alimentación, la señal de conmutación para cada módulo P20 es enviada desde el microcontrolador mediante el protocolo de comunicación SPI.

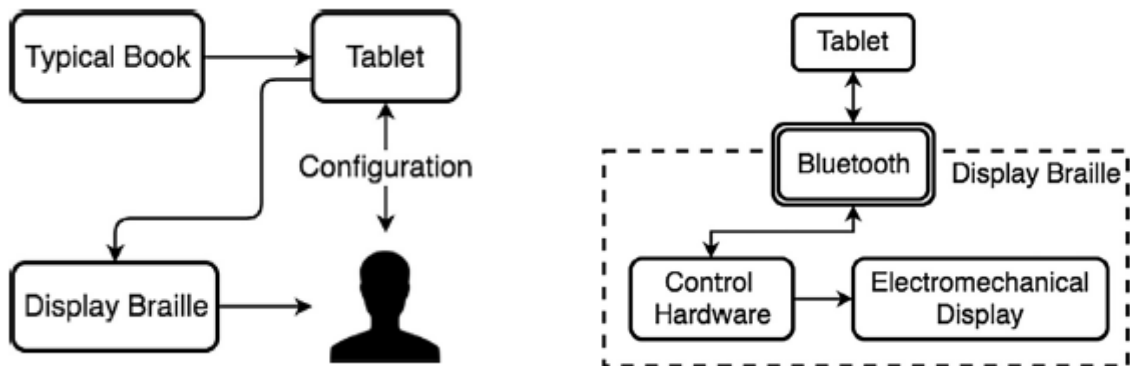


Fig. 13 Diagrama de flujo implementado

Los caracteres reconocidos mediante el procesamiento de imágenes son enviados desde el dispositivo *smartphone* hacia el microcontrolador para el despliegue del caracter braille.

4. Desarrollo

Como se mencionó al principio de este trabajo el objetivo general de esta tesis de maestría es el desarrollo de una herramienta que permita el acceso de información a la persona con discapacidad visual.

Es importante crear un dispositivo útil para el usuario final, por ello a lo largo del desarrollo se toman en consideración diferentes aspectos como ergonomía, velocidad de respuesta del dispositivo, personalización de configuraciones para el usuario, entre otras características.

A continuación, se presenta el diseño y desarrollo empleado en la construcción del dispositivo, así como el *software* para cada subsistema.

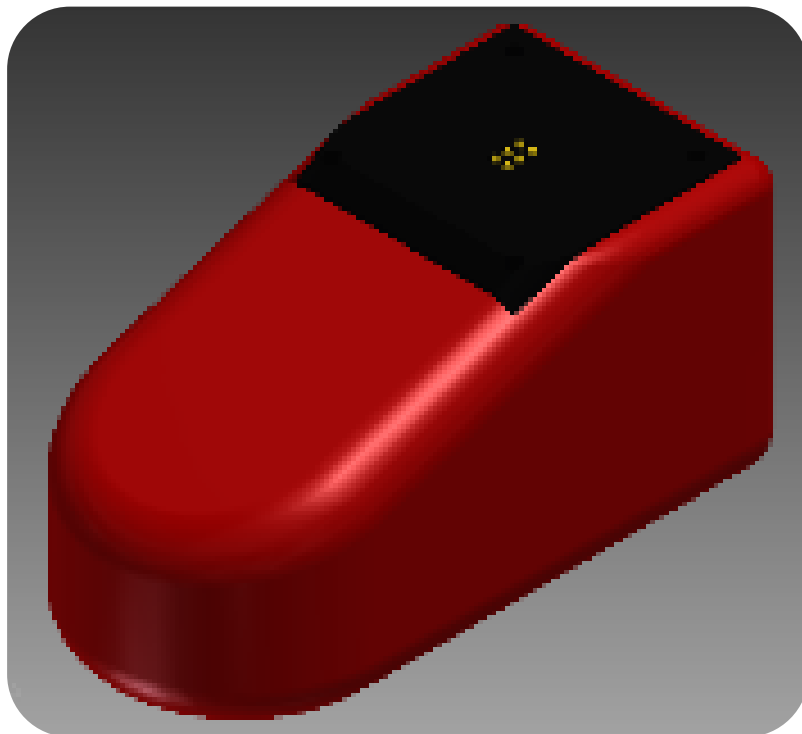


Fig. 14 Diseño propuesto del proyecto (celda braille)

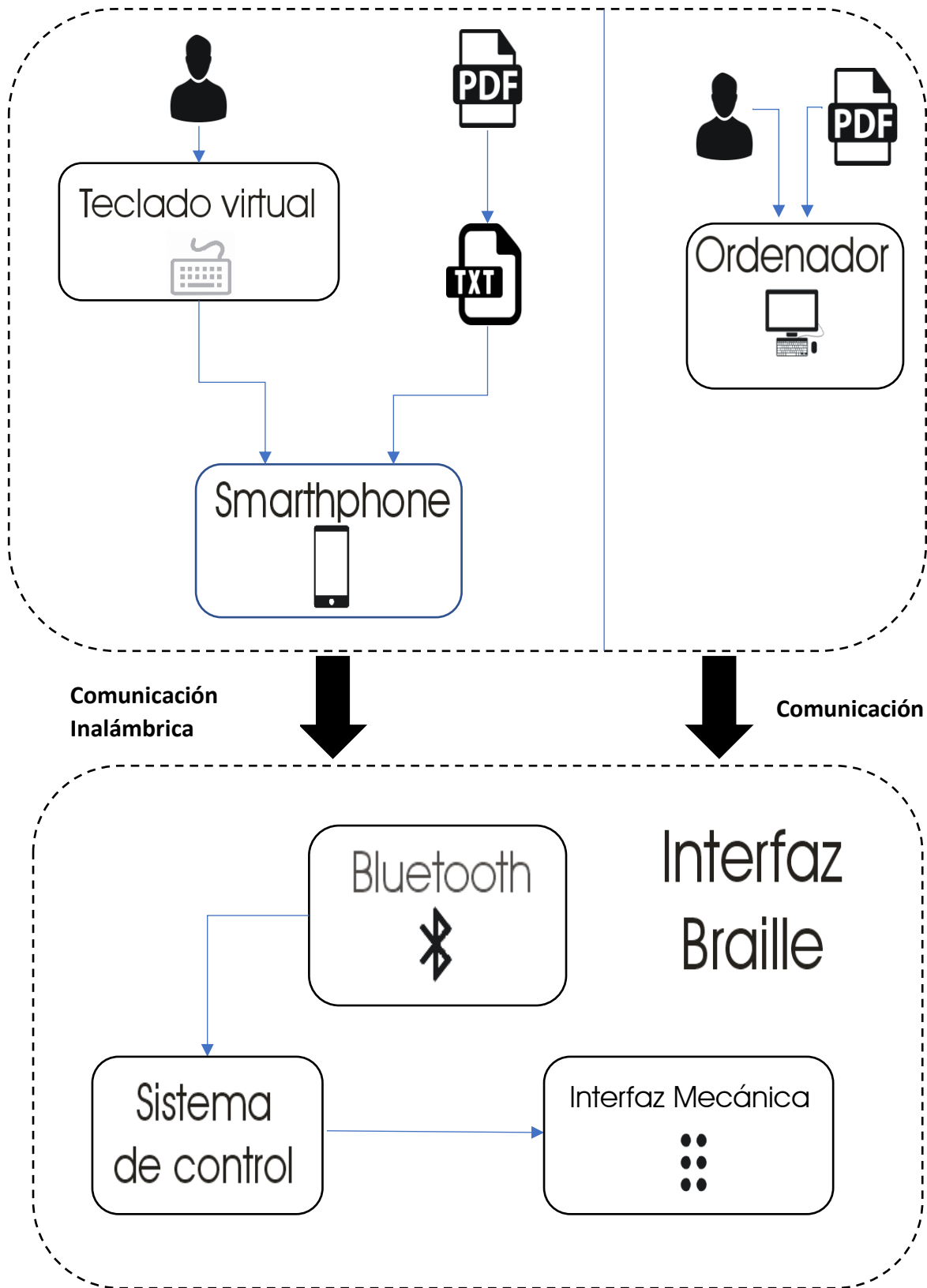


Fig. 15 Diagrama de flujo general del proyecto

Existen múltiples métodos para el accionamiento de un *display* braille actualizable en el tiempo, donde cada uno ofrece diferentes ventajas y desventajas. Algunos ejemplos de estos dispositivos incluyen principios electromecánicos, materiales con memoria, piezoeléctricos, polímeros electroactivos y simulaciones hápticas.

En los *displays* electromecánicos el problema principal es compleja configuración mecánica que se necesita para poder acoplar el dispositivo. Los dispositivos piezoeléctricos son los más comunes ya que reducen esta complejidad, sin embargo, el uso de materiales piezoeléctricos o polímeros electroactivos conlleva a voltajes elevados para su operación que como consecuencia aumenta el tamaño del dispositivo y eleva los costos de producción.

Los materiales con memoria también son usados para estos propósitos, haciendo uso de la deformación de un material dependiendo del calor. Existen diversos problemas en este tipo de aplicación. Primero es la pérdida de energía causada por la generación de calor y la segunda es el tiempo de respuesta lento que presenta este principio.

Analizando las ventajas y desventajas de los diferentes enfoques en la construcción de *displays* braille, se eligió el sistema electromecánico por los siguientes motivos.

A pesar del complejo sistema mecánico, este puede ser resuelto por medio de elementos simples y de bajo costo. El tiempo de respuesta es menor en comparación a los materiales con memoria.

Los altos voltajes requeridos para poder usar sistemas piezoeléctricos conllevan a riesgos de seguridad eléctricos, además de su elevado costo de producción.

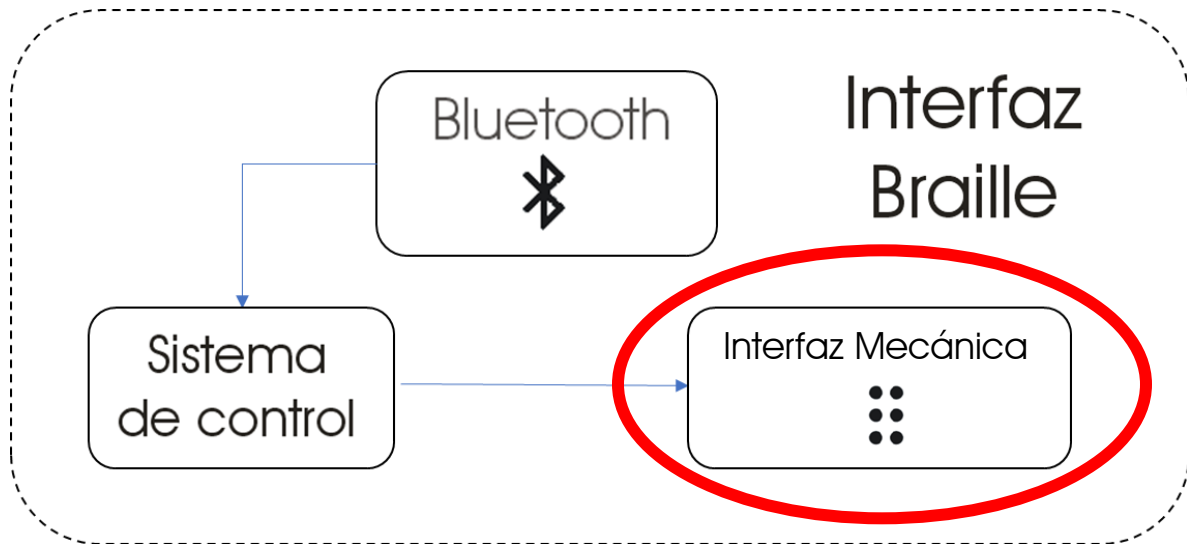
Se optó por un dispositivo electromecánico que cuenta con arreglo de servomotores acoplados a un eje para el sistema de lectura del usuario.

4.1 Interfaz Braille

Para lograr una mejor comprensión del sistema se describió de manera modular, iniciando desde el usuario.

4.1.1 Sistema mecánico

Es la parte que entra en contacto con el usuario (persona con discapacidad visual).



Interfaz mecánica

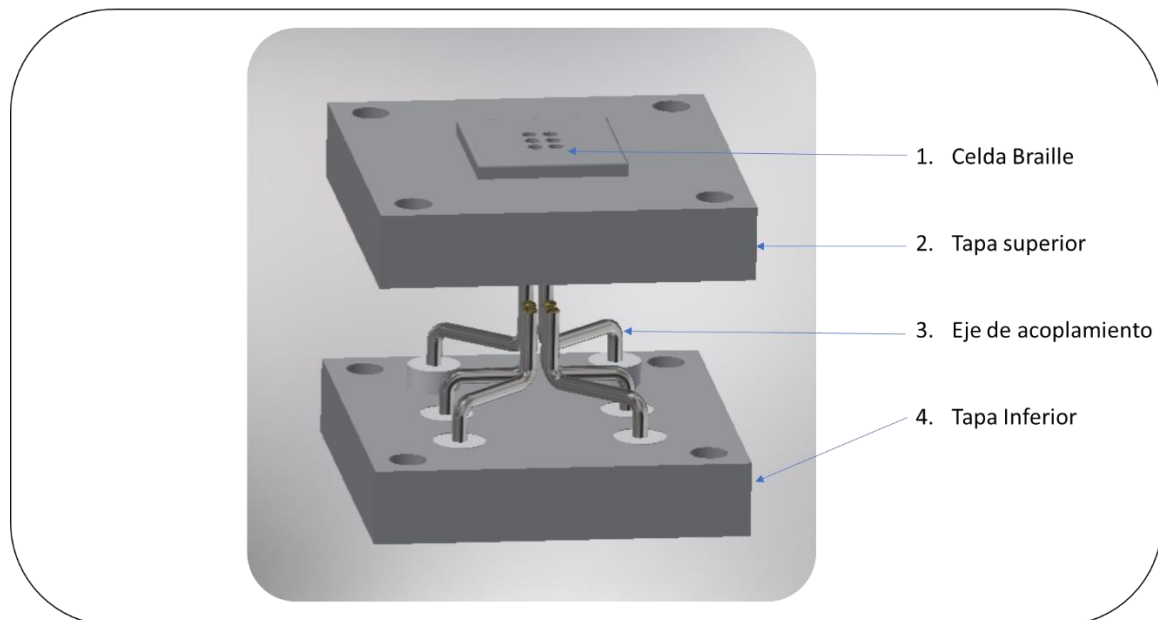


Fig. 16 Desglose mecánico implementado

El sistema debe permitir la decodificación de símbolos de lenguaje escrito convencional a lenguaje braille, tomando en consideración las métricas de este.

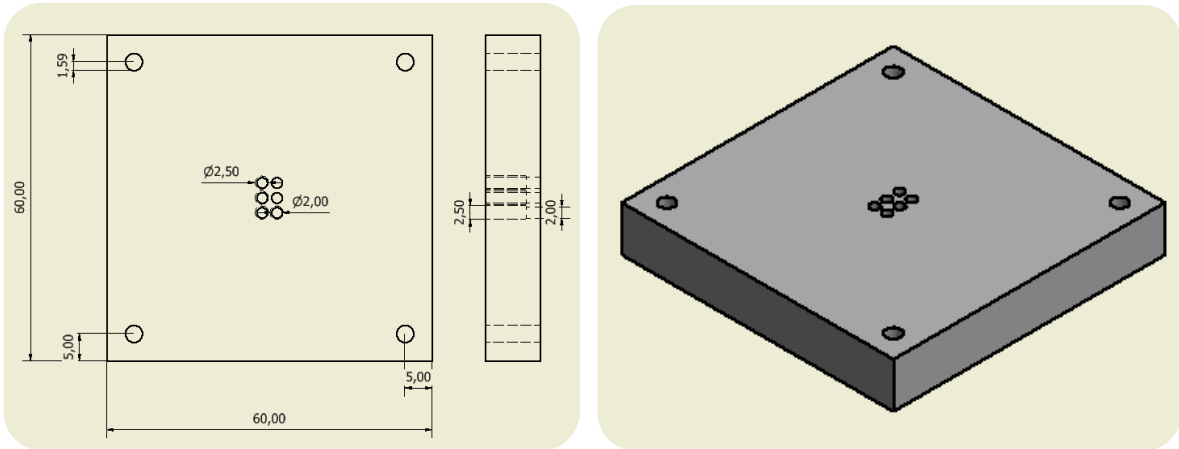


Fig. 17 Tapa superior

Se desarrolló un método de acople mecánico que permite transmitir el movimiento de abajo hacia arriba. Esto se debe a que las métricas del sistema braille son demasiado pequeñas (2.5 mm), en comparación con los sistemas electromecánicos comerciales, ver figura 24.

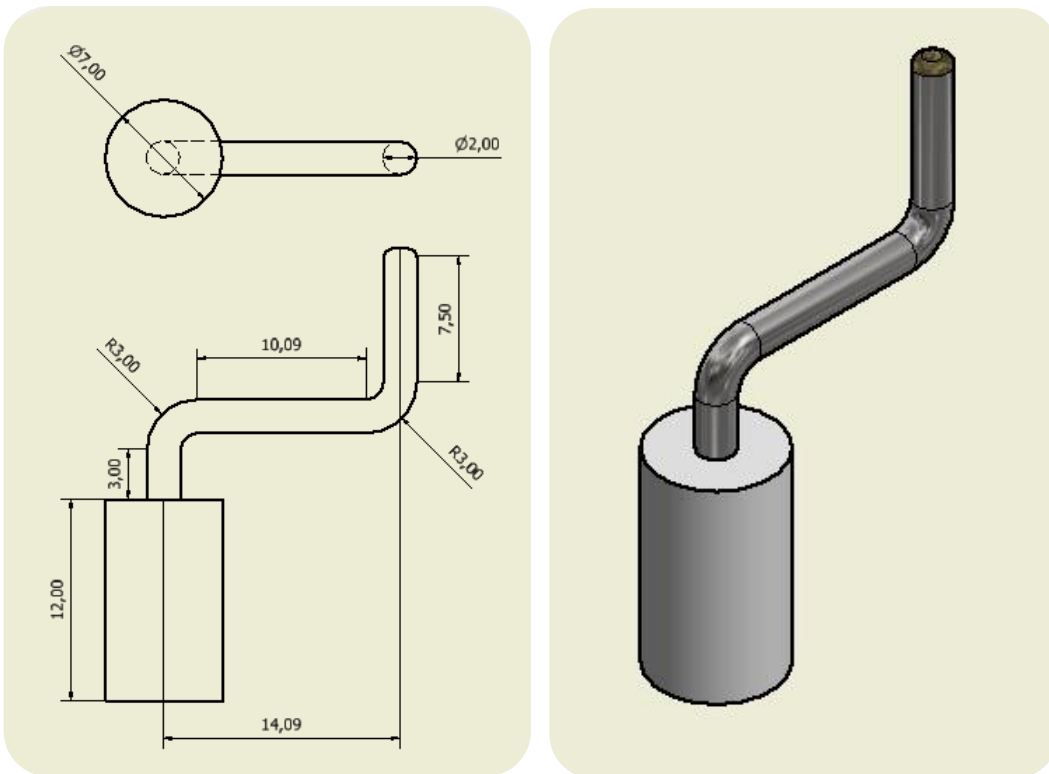


Fig. 18 Acople mecánico para la transferencia de movimiento

Este movimiento lineal ascendente-descendente se produce a partir de un movimiento rotacional, generado por una leva acoplada al eje de un servomotor.

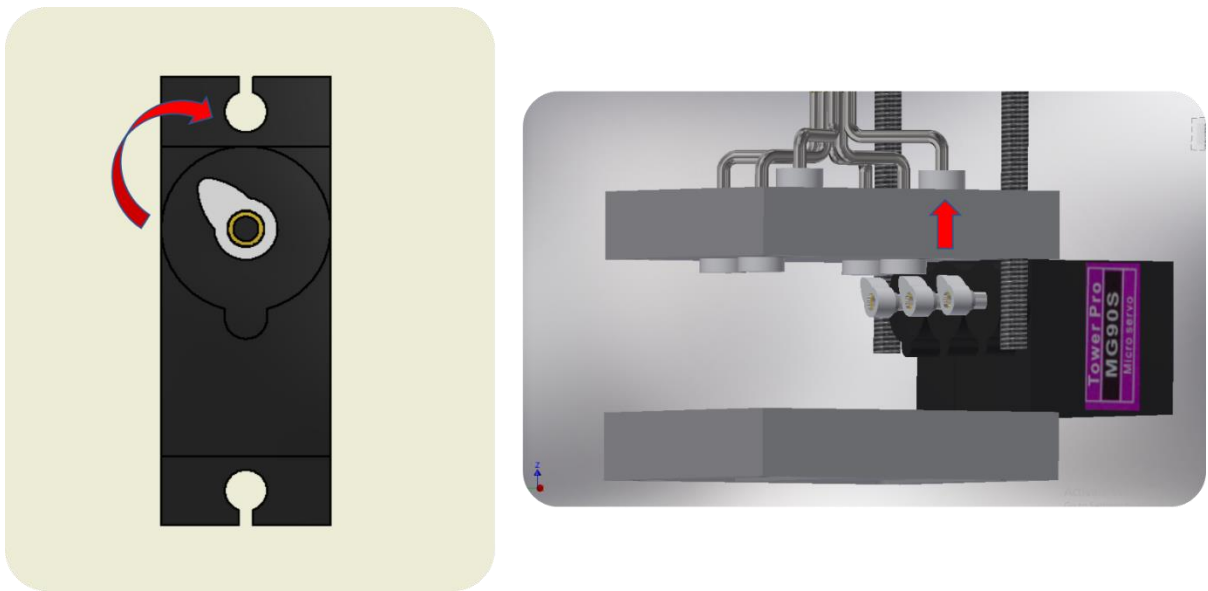


Fig. 19 Conversión de movimiento rotacional a lineal

Finalmente, la configuración del tablero braille quedó como se muestra en la figura 26.

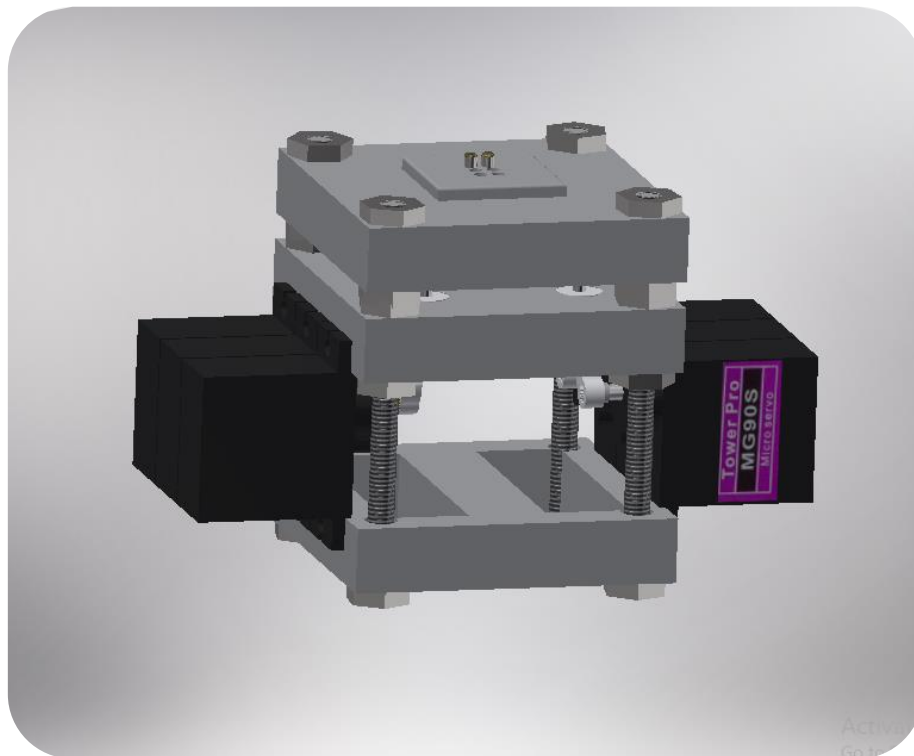
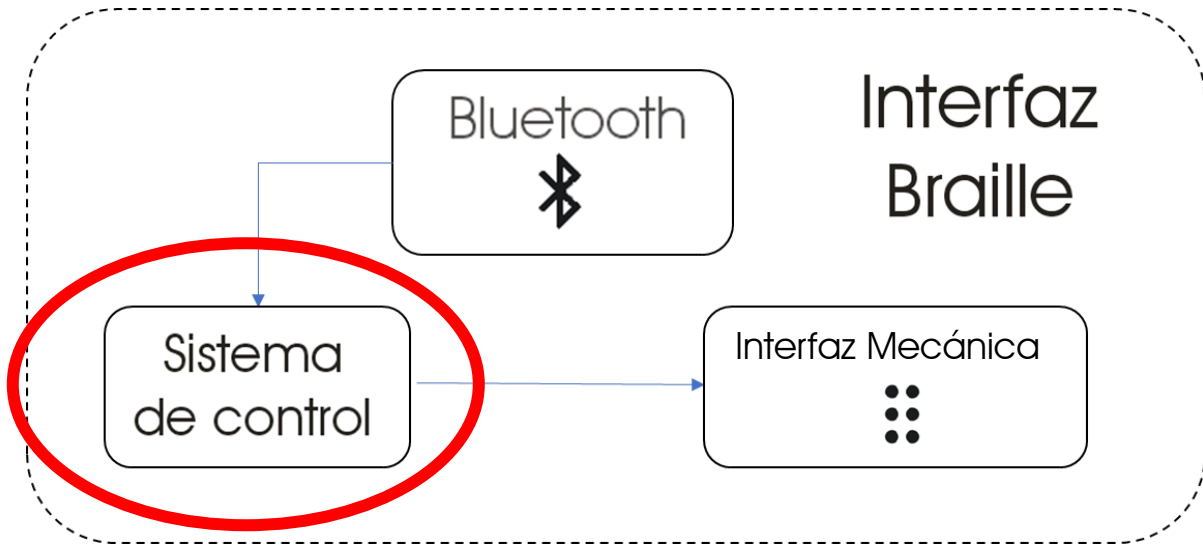


Fig. 20 Ensamble mecánico implementado

4.1.2 Sistema de control

El sistema de control es el encargado de la decodificación del texto que llega a través de la comunicación *bluetooth* para posteriormente accionar el conjunto de servomotores que generan una expresión braille.



Sistema de control

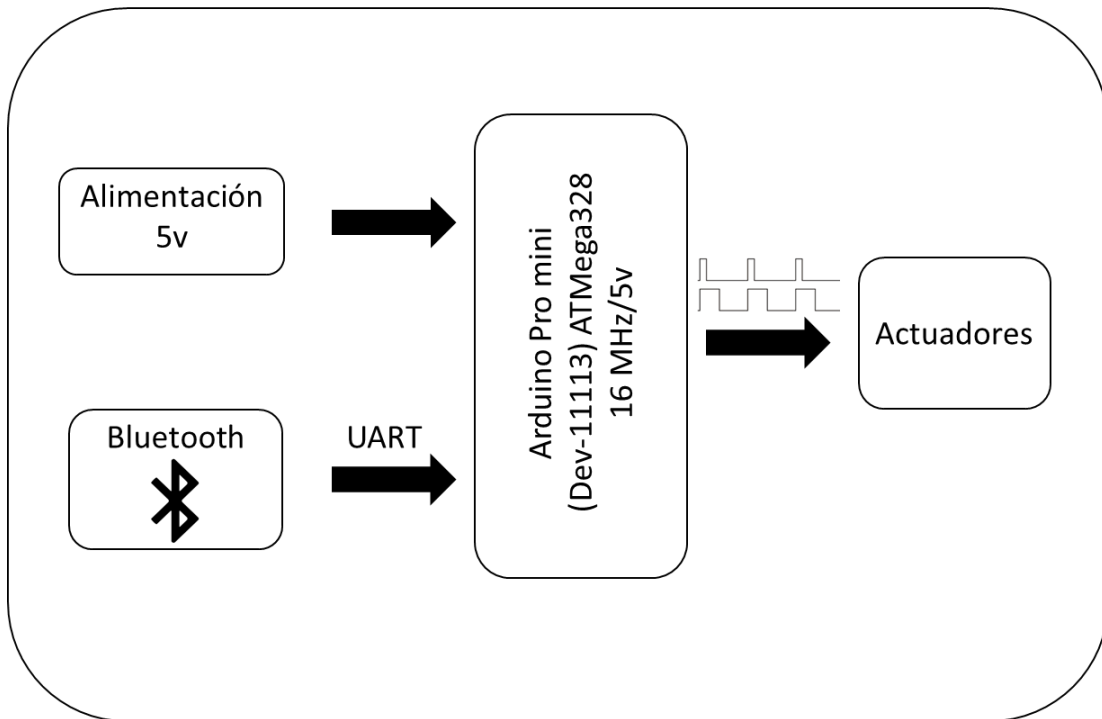


Fig. 21 Diagrama de flujo implementado en el sistema de control

El microcontrolador empleado para el desarrollo de este sistema fue el ATmega328P-AU (8-bit AVR).

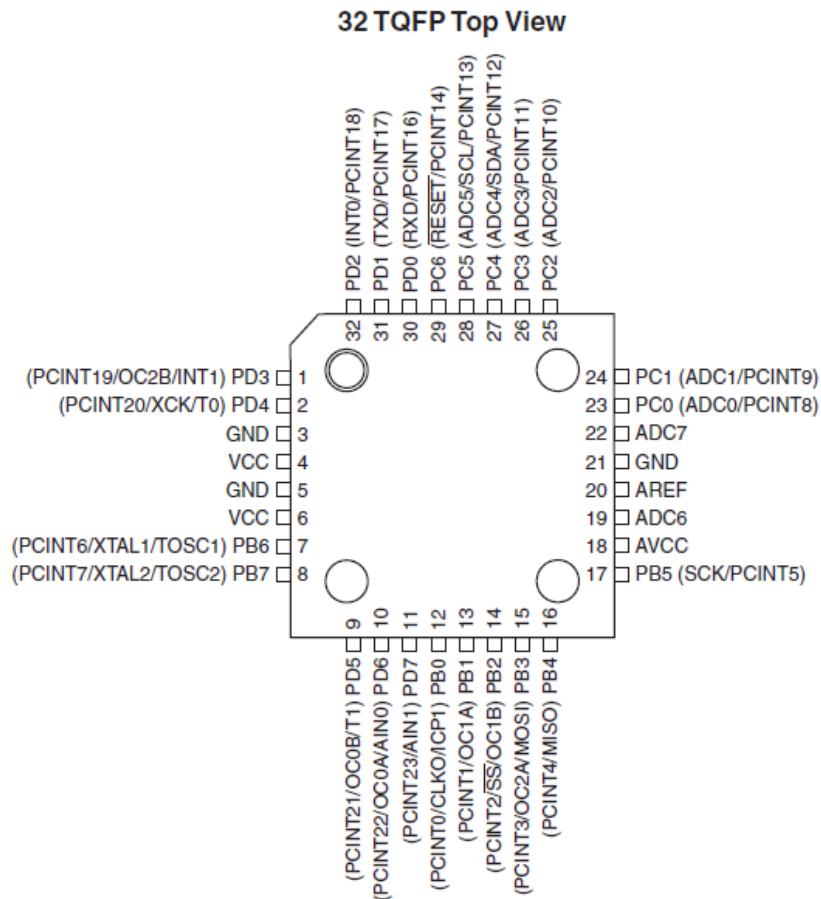


Fig. 22 ATmega328P-AU (8-bit AVR). Encapsulado TQFP32

Especificaciones:

- Tensión de operación: 1.8 – 5V.
- Rango de temperatura: -40 a 85°C
- Memoria Flash: 32 KB
- SRAM: 2KB
- EEPROM: 1 KB
- Canales PWM: 6
- Dimensiones: 0.9 x 0.9 x 1mm
- Grado de velocidad:
- 0 – 4MHz @ 1.8 – 5.5V, 0 -10MHz @ 2.7 -5.5V, 0 – 20MHz @ 4.5 – 5.5V

Se instaló un *firmware* (*bootloader*) para agregar versatilidad al sistema para futuras actualizaciones. El sistema de *firmware* ocupa 2KB de memoria *Flash*.

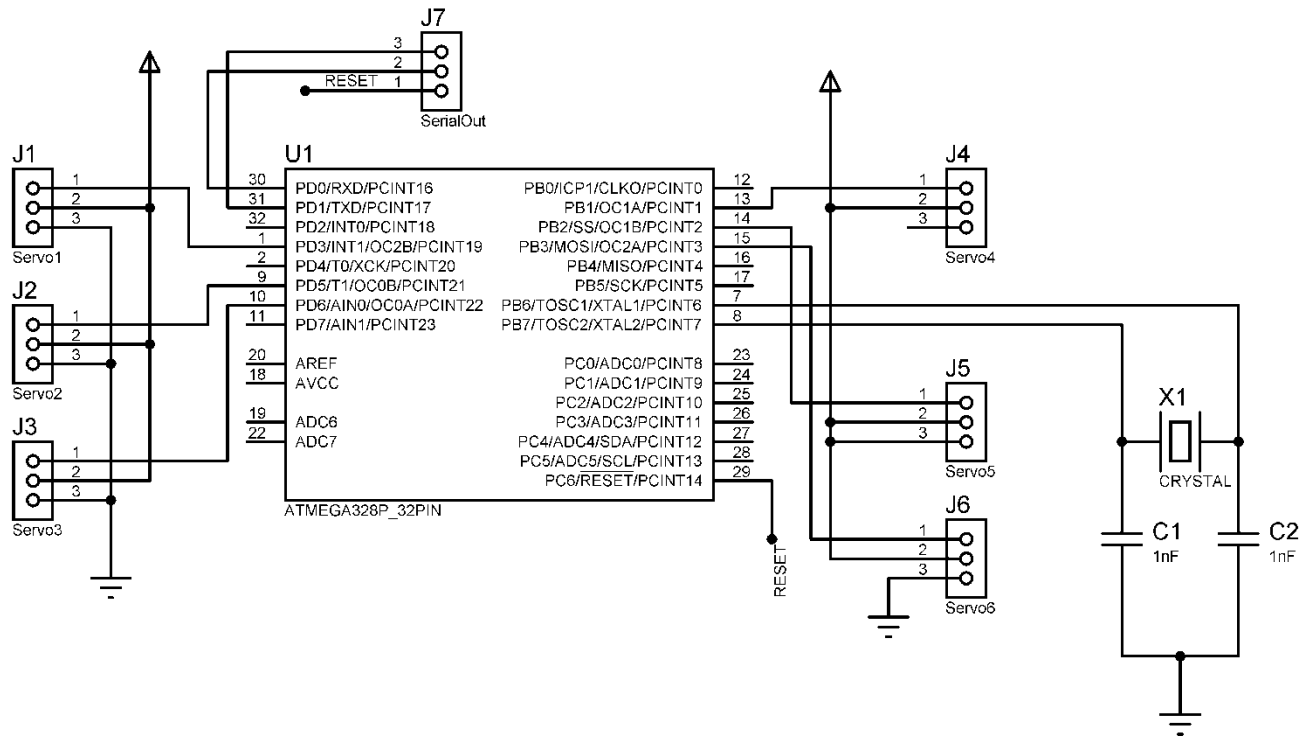


Fig. 23 Diagrama electrónico implementado

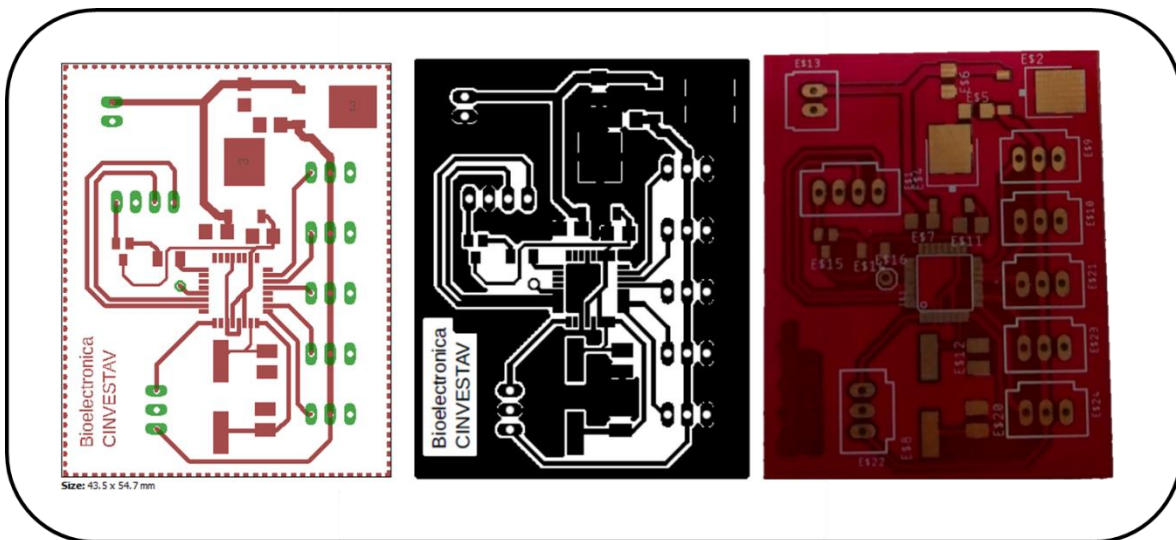


Fig. 30 Diseño electrónico implementado EAGLE 8.6.3

Diagrama de flujo del código implementado en el microcontrolador.

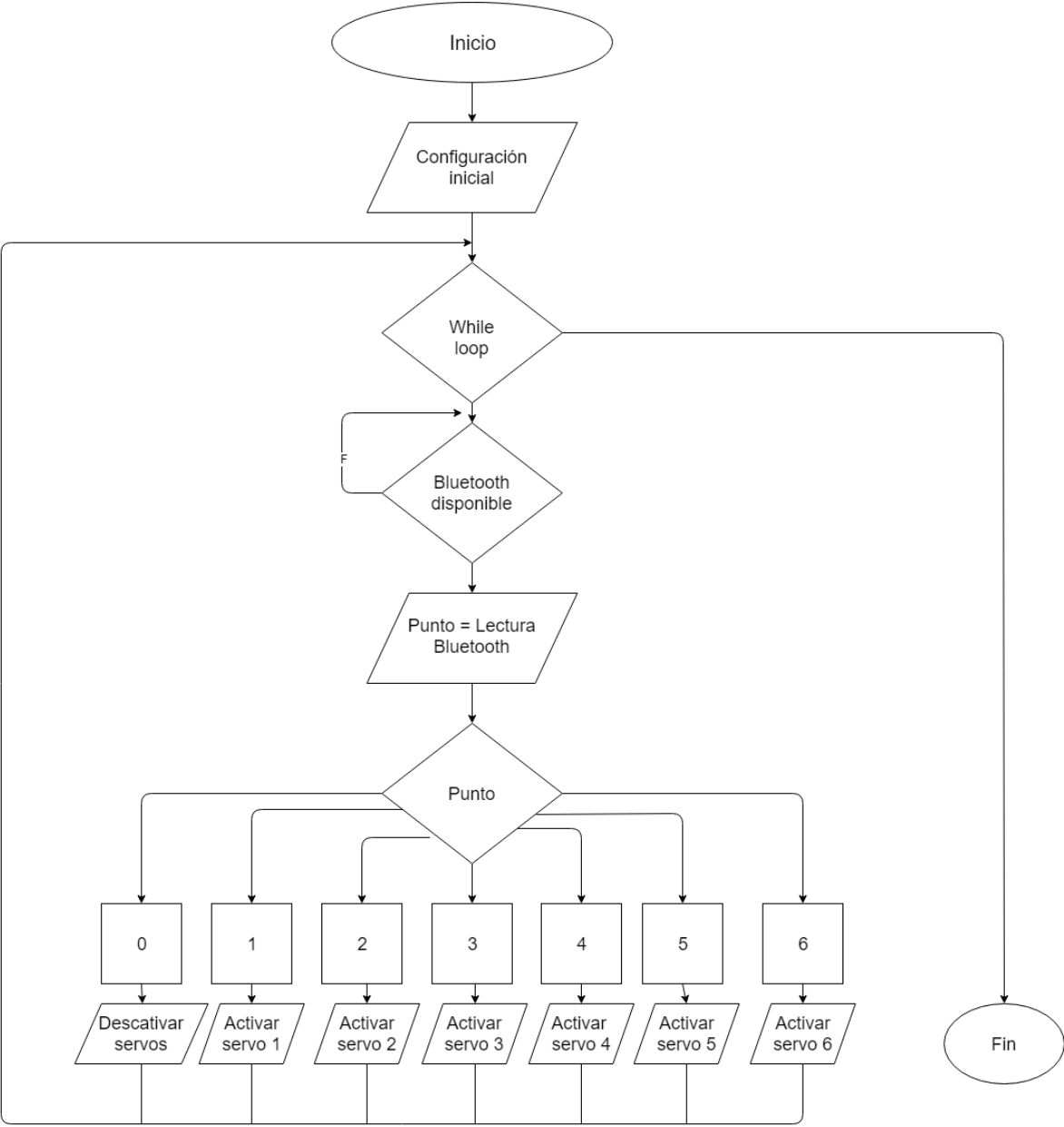
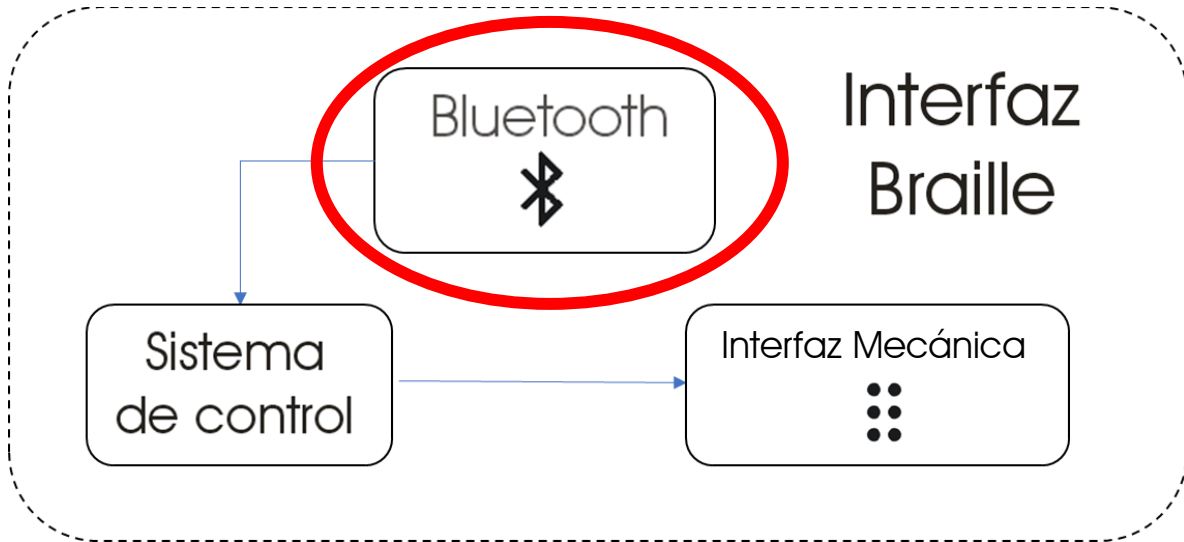


Fig. 31 Diagrama de flujo del firmware implementado en el microcontrolador

4.1.3 Sistema de comunicación bluetooth

El sistema de comunicación *bluetooth* es el encargado de establecer un enlace entre la central de mando del sistema operativo y el tablero de interfaz braille.



El HC-05 es una herramienta que interconecta datos bluetooth y los convierte a comunicación serial, diseñado para una conexión inalámbrica-serial transparente.

Está habilitado para *bluetooth* v2.0+EDR y una modulación de 3Mbs con un radio transceptor de 2.4GHz de bajo consumo y con las siguientes dimensiones 12.7 x 27 mm (figura 32).



Fig. 32 Módulo bluetooth HC-05

Especificaciones:

- Módulo *Bluetooth Slave & Master*.
- Protocolo *bluetooth*: *Bluetooth* especificación V2.0+EDR.
- Potencia de emisión: <4dBm, clase 2.
- Sensibilidad: <-84dBm a 0.1% BER.
- Temperatura de trabajo: -20 a 75°C.
- Frecuencia: 2.4GHz ISM *Band*.

Para la conexión entre el módulo HC-05 y el microcontrolador se empleó la siguiente estructura.

Conexión modulo HC05

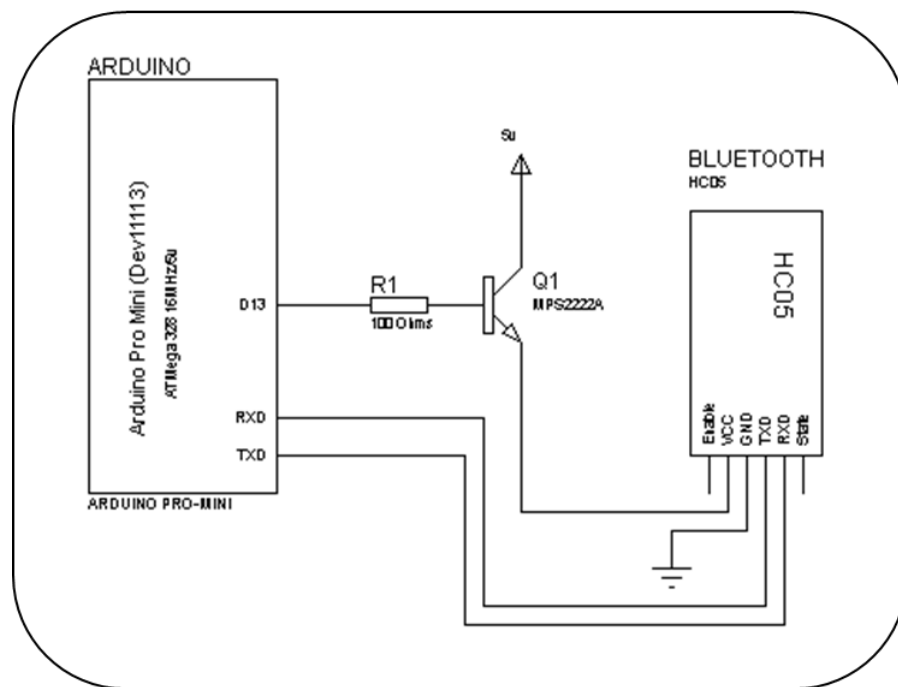


Fig. 33 Diagrama electrónico para la conexión bluetooth

Como se muestra en la figura 33 se empleó un sistema de conmutación para este módulo. Esto se debe a que el sistema *bluetooth* está conectado directamente al puerto USART, lo cual puede causar conflicto con nuestro dispositivo. De igual forma nos da la posibilidad de gestionar el sistema mediante comunicación serial a la computadora si así se decide.

Finalmente, el dispositivo de esta tesis se presenta en la figura 34.

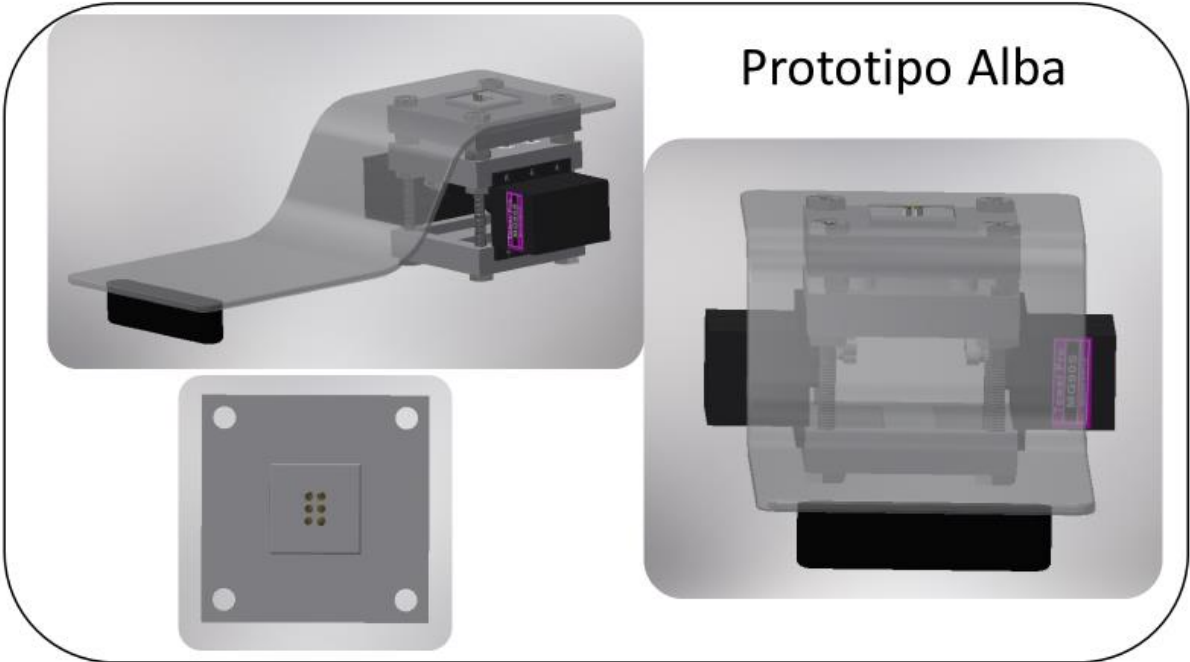


Fig. 34 Prototipo desarrollado (interfaz braille)

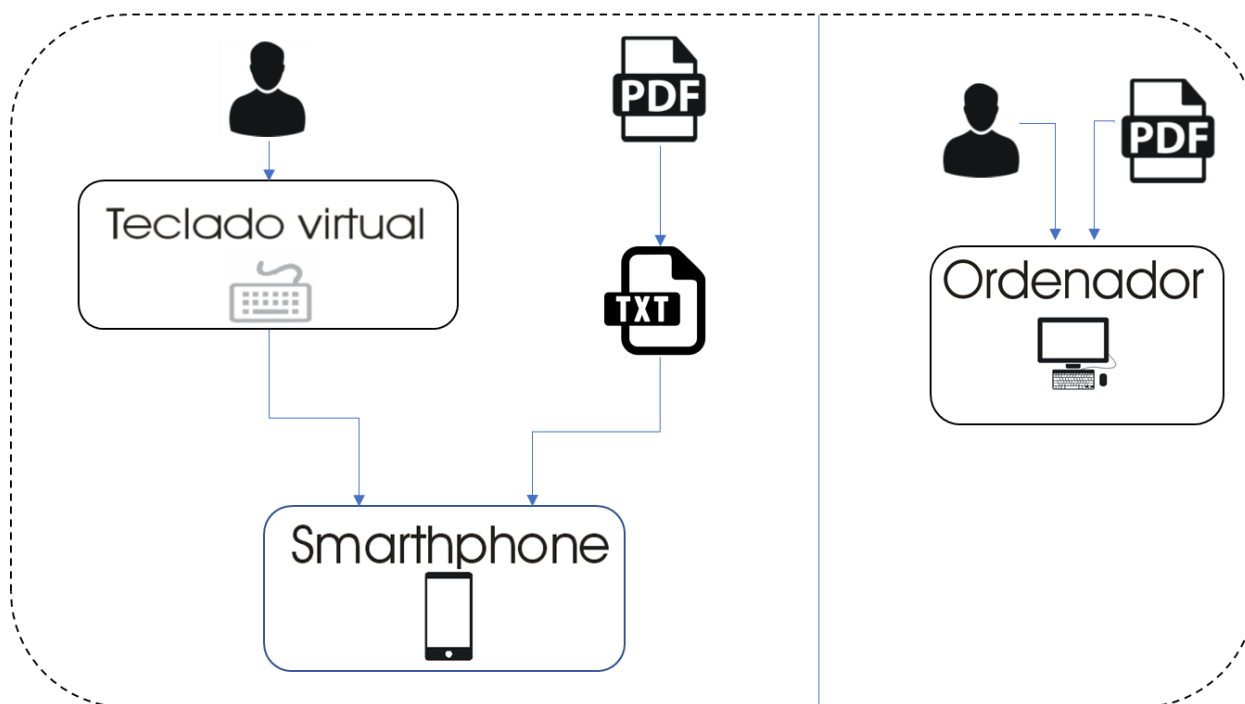
4.2 Control de Mando

El control de mando es el encargado de interactuar con el tutor o profesor de educación especial, brindando las herramientas necesarias para transmitir el contenido educativo a la interfaz braille.

En esta tesis se realizaron dos sistemas de control de mando

- 1.- Sistema desarrollado en plataforma Android (para *smartphones* y *tablets*).
- 2.- Sistema desarrollado en plataforma Linux y Windows (para computadoras personales).

Control de mando



4.2.1 Sistema desarrollado en plataforma Android.

Android es un sistema operativo basado en el núcleo *Linux* que proporciona un *framework* de *apps* adaptable que te permite ofrecer recursos exclusivos para diferentes configuraciones de dispositivos.

La aplicación desarrollada para el control de mando fue programada en Android Studio 3.0.1.

Características de la aplicación

La *app* se desarrolló como una herramienta modular que integre diferentes áreas del conocimiento para el aprendizaje y educación del alumno. Para este propósito, se plantearon los siguientes módulos.

1. Módulo de reconocimiento táctil de la celda braille.
2. Módulo de aprendizaje de abecedario.
3. Módulo de lectura.
4. Módulo de aprendizaje de notas musicales.

Introducción App Alba



Fig. 24 Panel de presentación (aplicación Alba)

4.2.1.1 Módulo de reconocimiento táctil de la celda braille.

El objetivo de este segmento es desarrollar la capacidad sensorial del sujeto, logrando una analogía táctil de la celda braille convencional.

La aplicación permite la elevación independiente cada punto en la celda braille, de igual forma se puede ejemplificar caracteres completos, como se muestra en la figura 36 (carácter “f”).

Reconocimiento de celda braille

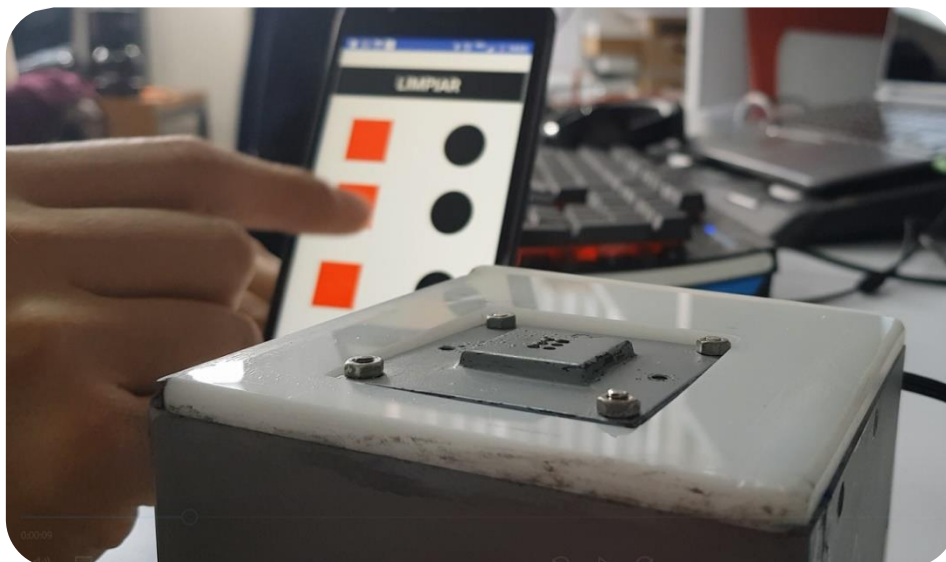


Fig. 25 Módulo de reconocimiento de la celda braille (aplicación Alba) y dispositivo desarrollado

4.2.1.2 Módulo de aprendizaje de abecedario.

La asociación de caracteres de alfabeto a su contra parte braille es fundamental al momento de aprender a leer y escribir. El objetivo de este apartado es brindar una herramienta de práctica al sujeto que le permita reconocer los diferentes caracteres de nuestro idioma.

Abecedario App Alba

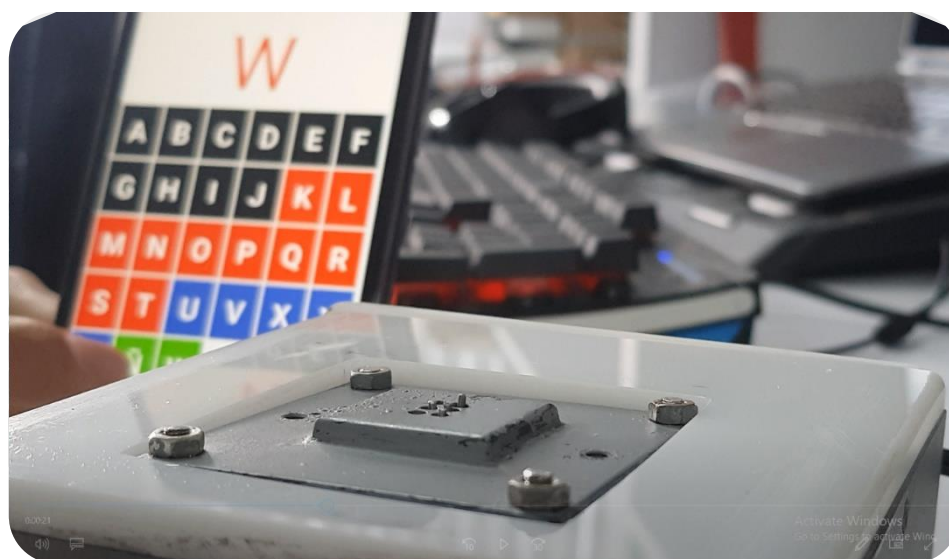
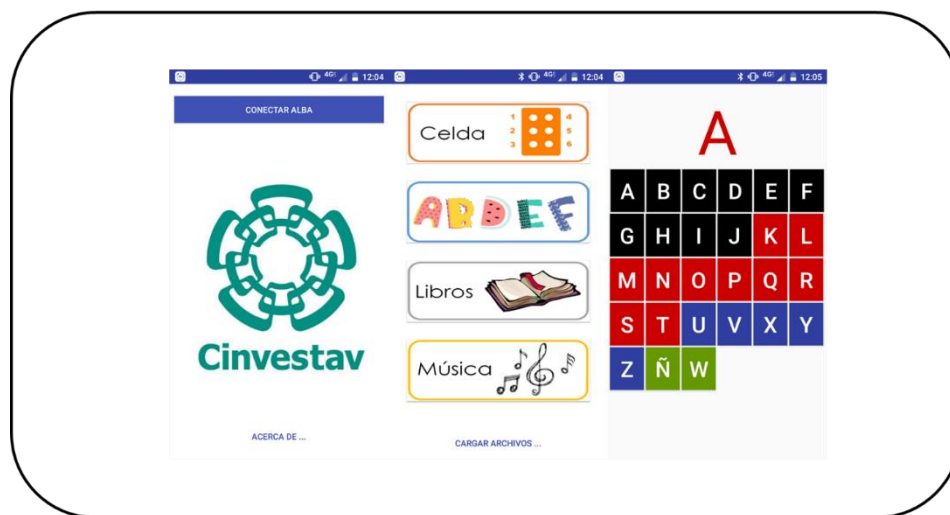


Fig. 26 Módulo de aprendizaje del abecedario (aplicación Alba) con el dispositivo desarrollado

4.2.1.3 Módulo de lectura.

Las personas con discapacidad visual, al igual que las que ven, necesitan leer y escribir para acceder a la educación, a la cultura y, en general, a la información y a la comunicación escrita. El braille, a través del sentido del tacto, es el código que en la actualidad permite a las personas con esta discapacidad alcanzar este objetivo fundamental.

El sistema braille no es solo un código especial de lectura y escritura. Si no, ante todo, un medio de comunicación alternativo a la visual, que pone en marcha mecanismos psíquicos y neurofisiológicos.

Este segmento brinda una herramienta para la lectura de información digital, cuenta con una biblioteca precargada directamente en la aplicación, además de incorporar una herramienta para incorporar nuevo contenido a la biblioteca.

Leer libros App Alba



a)

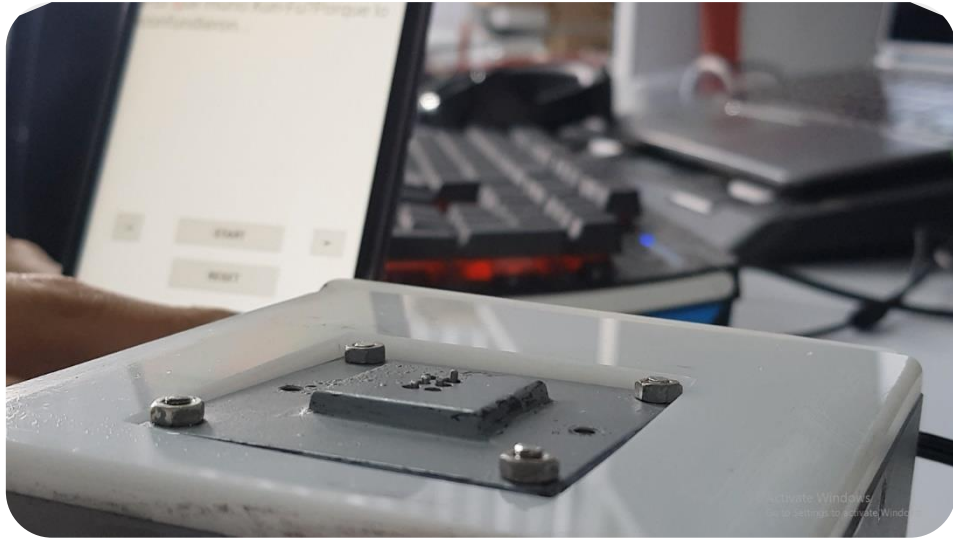


Fig. 27 a) Módulo de lectura (aplicación Alba) y b) dispositivo desarrollado

La aplicación nos permite configurar los intervalos para lectura entre caracter y caracter, como se muestra en la figura 39.



Fig. 28 Interfaz parta lectura (los círculos rojos indican los botones para aumentar o disminuir la velocidad de lectura y el tiempo configurado)

De igual manera, la *app* permite seleccionar el inicio de lectura, o regresar a un caracter anterior en caso de que el sujeto no lograra reconocer el caracter desplegado, como se muestra en la figura 40.



Fig. 29 Interfaz para lectura (permite cambiar el cursor de lectura)

Los archivos disponibles en la biblioteca están cargados previamente en la aplicación. Durante la instalación en el *smartphone* se incorpora al dispositivo la carpeta ALBA (biblioteca de libros), Si el usuario desea cargar archivos a esta carpeta lo puede hacer simplemente agregando los archivos con extensión .txt. De igual forma, se agregó una herramienta para incorporar nuevo contenido desde la carpeta *Downloads* del dispositivo, donde el programa desplegará en lista todos los archivos en extensión .pdf. Al seleccionar alguno de estos archivos se cargarán automáticamente a su carpeta ALBA, como se muestra en la figura 41.

Cargar libros App Alba

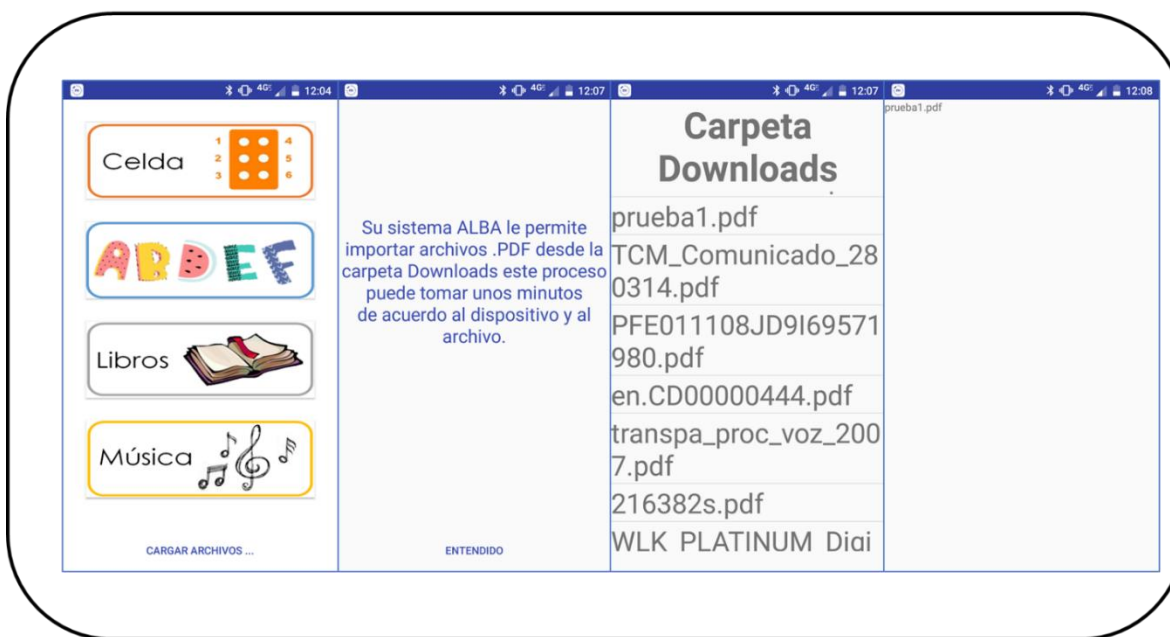


Fig. 30 Módulo para carga de libros a biblioteca ALBA

4.2.1.4 Módulo de aprendizaje de notas musicales.

El desarrollo del alumno con discapacidad visual debe ser integral. Se cree que la persona con esta discapacidad posee una capacidad auditiva superior [15], pero esto no es del todo cierto. La deficiencia visual, más bien, lo obliga a desarrollar mejor otros sentidos, con el ánimo de suplir dicha discapacidad. Teniendo en cuenta que gran parte de su contacto con el medio exterior lo realiza a través de su percepción e interpretación de los sonidos, se hace entonces necesario educar y potenciar esa sensibilidad auditiva. Esta sección le permite asociar la nota auditiva a su correspondiente braille.

Notas musicales App Alba

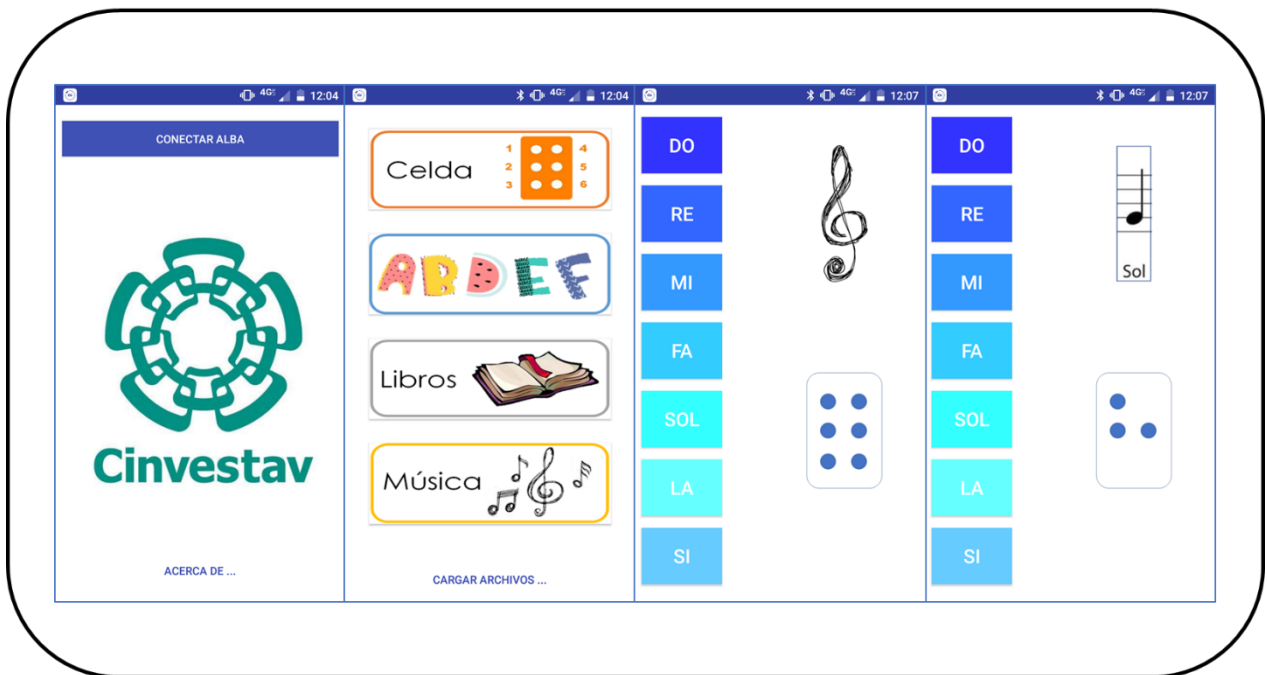


Fig. 31 Módulo de aprendizaje de notas musicales.

Diagramas de usos

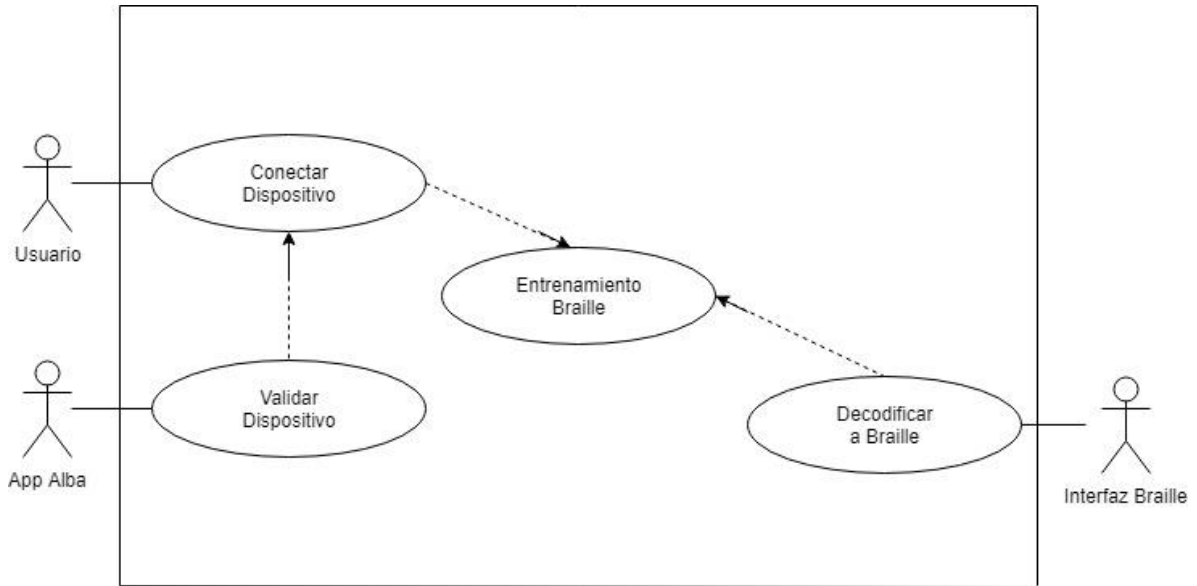


Fig. 32 Diagrama de usos para los módulos de entrenamiento (reconocimiento celda braille, abecedario, notas musicales)

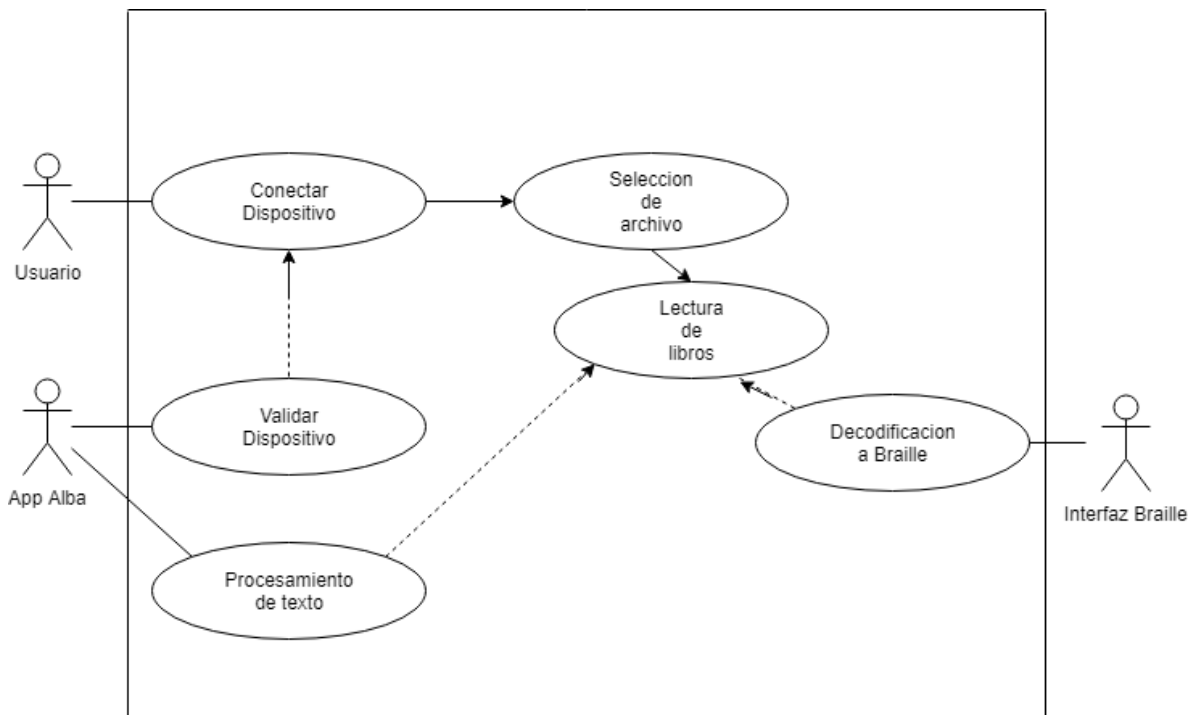


Fig. 33 Diagrama de usos para módulo de lectura

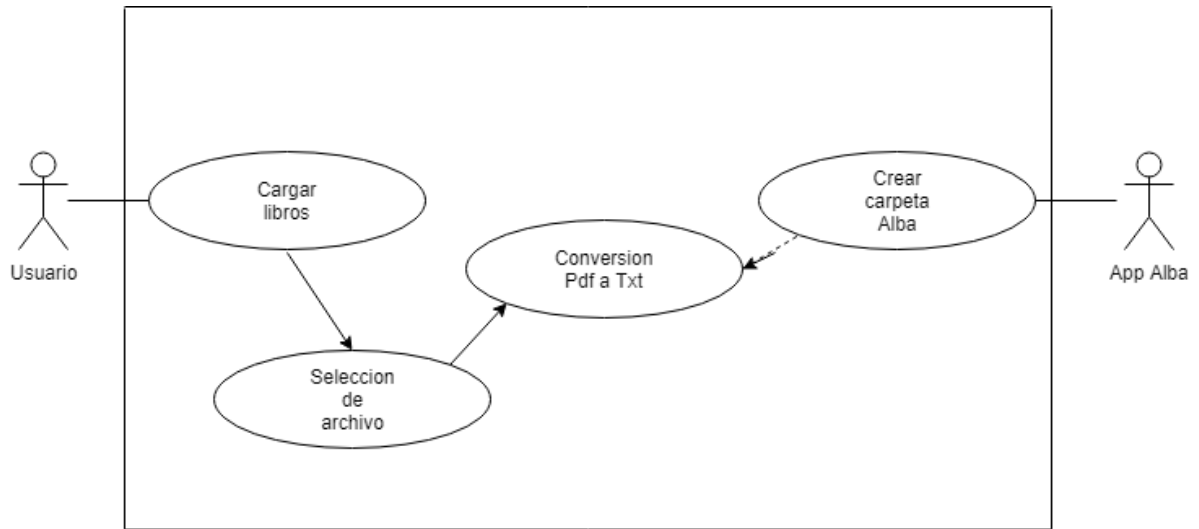


Fig. 34 Diagrama de usos para la carga de archivos a biblioteca ALBA

Diagrama de clases

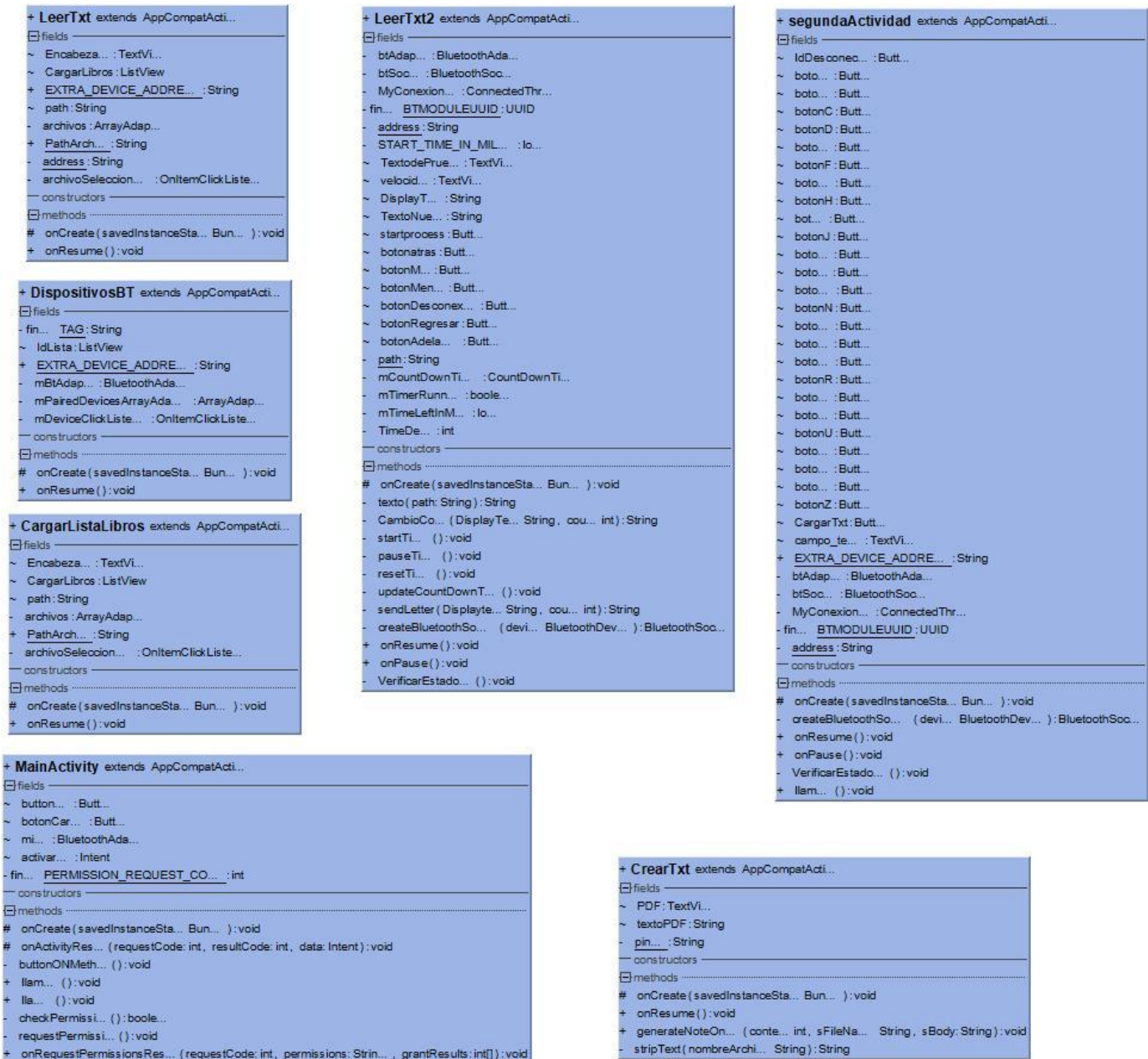


Fig. 35 Diagrama de clases app ALBA

4.2.2 Sistema desarrollado en plataforma Linux y Windows.

Los requerimientos educativos pueden presentarse en múltiples plataformas. Para ello, se desarrolló un sistema de control de mando en lenguaje Python 2.7, el cual nos ofrece una alta compatibilidad entre diferentes sistemas operativos como Windows o Linux.

Python es un lenguaje de programación interpretado multiparadigma y multiplataforma. Soporta orientación a objetos, programación imperativa y en menor medida, programación funcional.

Características de la aplicación

Se debe desarrollar una herramienta que permita la comunicación de texto convencional en el ordenador a su representación braille en la interfaz desarrollada.

Se crearon dos módulos independientes.

- 1.- Módulo de conversión de archivos con extensión .pdf a .txt
- 2.- Módulo de conversión de texto a braille

4.2.2.1 Módulo de conversión de archivos con extensión PDF

El formato de documento portátil (PDF) es un formato de archivo utilizado para presentar e intercambiar documentos de forma fiable, independiente del *software*, el *hardware* o el sistema operativo. PDF es un estándar abierto y oficial reconocido por la Organización Internacional para la Estandarización (ISO). Gran parte de la información educativa está proporcionada en documentos PDF, por ello se plantea la extracción de texto de este formato.

El módulo permite la extracción de archivos con extensión .pdf a archivos .txt o texto simple, para su posterior procesamiento.

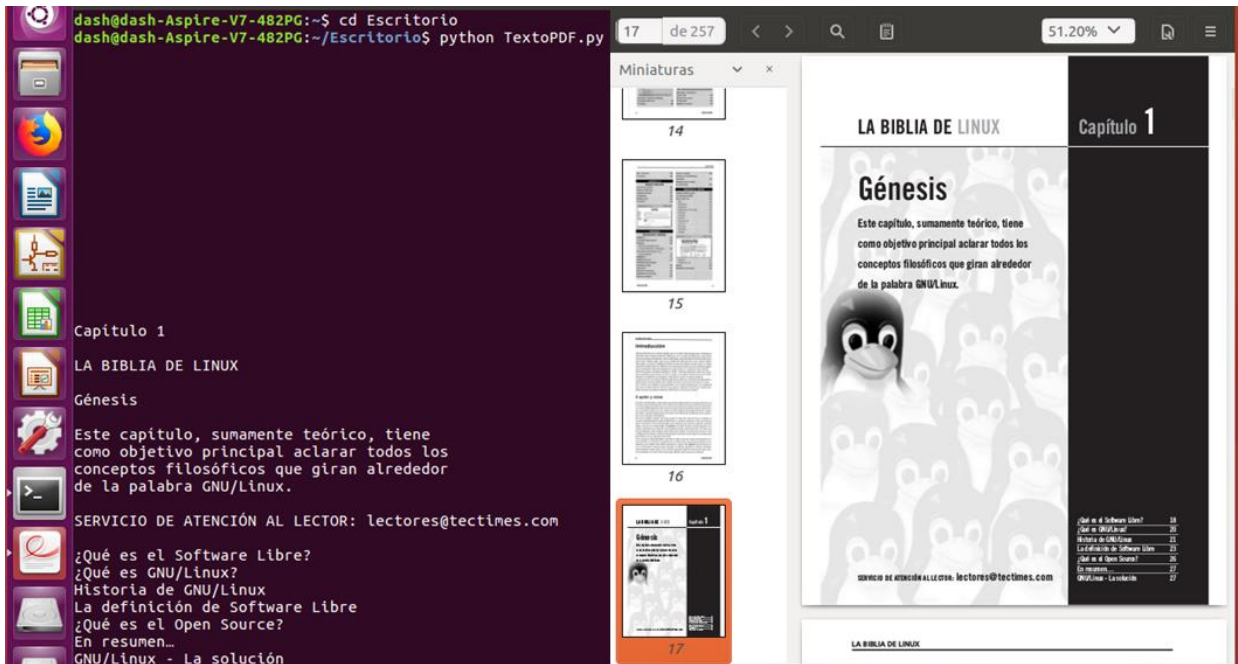


Fig. 47 Resultado de la conversión de archivos con extensión .pdf a texto simple

Módulo de conversión de texto a braille.

Este módulo permite la entrada de texto del usuario por medio de la terminal. El texto obtenido es procesado para obtener su codificación en braille tomando como referencia la numeración estándar de la ONCE, Esta codificación es enviada a la interfaz braille por medio del puerto serial a la interfaz desarrollada.

La estructura del módulo está compuesta para su expansión a trabajo futuro, he incorporarla al módulo de conversión de archivos.

Diagrama de flujo

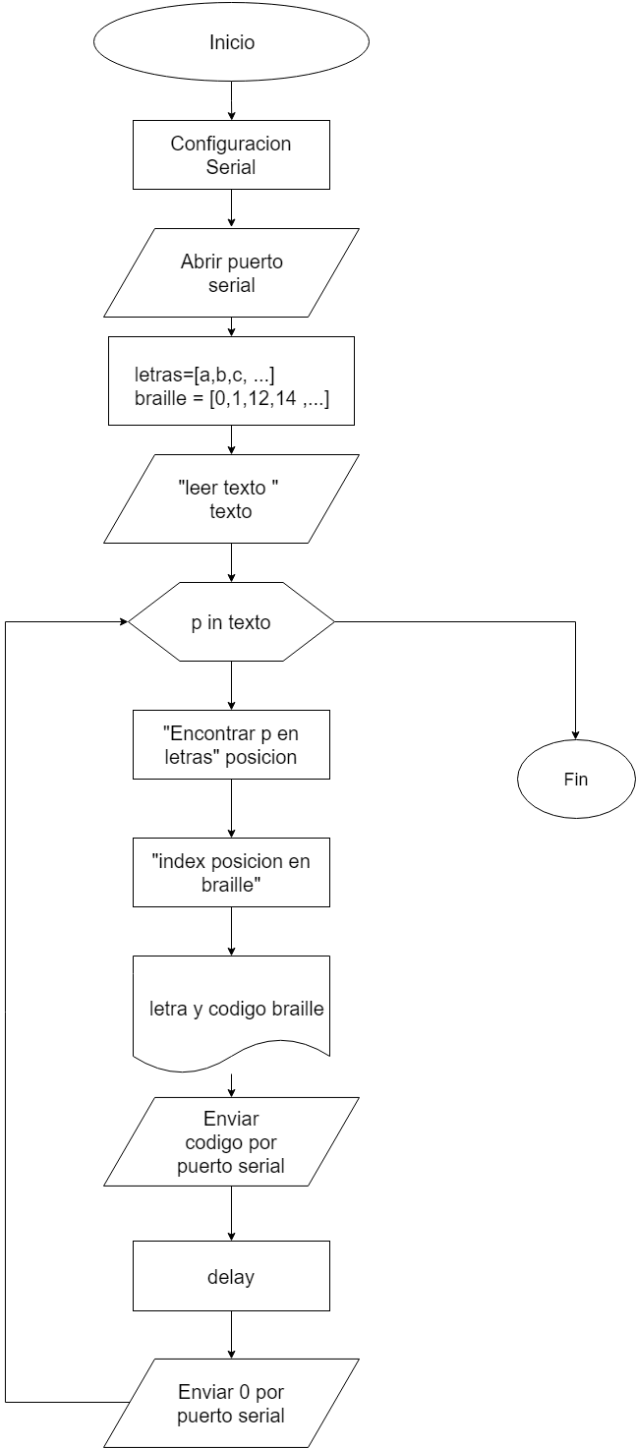


Fig. 48 Diagrama de flujo implementado (lenguaje Python 2.7)

5. Pruebas

En esta fase del trabajo, se investigaron los tipos de errores que presentan los usuarios en la lecto-escritura braille en castellano [15], específicamente constatar si existen y en que magnitud, errores por rotación, errores de omisión o añadido de puntos que configuran una letra, errores por inclusión u omisión de letra.

Atendiendo a estos propósitos se diseñaron tres tipos de tareas diferentes: reconocimiento de puntos en la celda braille, reconocimiento de caracteres individuales y reconocimiento de palabras.

Como error se consideró toda aquella lectura que el sujeto hace que no corresponde con lo presentado en el sistema de enseñanza braille, de igual forma se consideró como error la omisión de respuesta al carácter desplegado.

5.1 Prueba de reconocimiento de puntos en la celda braille

Esta prueba se realizó con sujetos sin ningún tipo de discapacidad visual. La idea primordial es recrear la fase de adaptación al lenguaje braille en personas con discapacidad visual recién adquirida.

La prueba consistió en el reconocimiento de puntos y su ubicación espacial (ver capítulo 2.1). Se desplegaron de forma aleatoria diversos patrones en la celda braille (apéndice 10.2) a tiempos definidos con ayuda del módulo de lectura (capítulo 4.2.1).

Los tiempos se definieron a 2s, 3s y 4s con la finalidad de analizar el comportamiento de los errores en diferentes lapsos.

Se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- 1.-Al inicio de la prueba se realizó una breve descripción del procedimiento, así como una introducción al lenguaje braille.
- 2.- Se explicó de manera gráfica y concisa el orden de numeración estándar de la celda braille.

3.- Se ubicó al sujeto en la zona de trabajo, sentado frente al dispositivo y garantizando la correcta postura para la lectura.

4.- Se privó temporalmente al sujeto de la visión con un antifaz para dormir (producto de uso comercial, diseñado para este propósito y que garantiza la comodidad) para proceder a la prueba.

5.- Se realizó una introducción al sistema para dar un acercamiento a su ubicación, y morfología de la celda braille de manera táctil.

6.- Con ayuda del módulo de reconocimiento de celda (capítulo 4.2.1) se realizó una orientación espacial de la celda, desplegando uno a uno los diferentes puntos y haciendo énfasis en los puntos 1, 3, 4, 6 (puntos límites).

7.- Se pidió al usuario durante esta fase de introducción que realizará el reconocimiento de diversos puntos y que dijera su numeración. Si la respuesta era errónea, se proporcionó una retroalimentación táctil para familiarizarlo con el sistema de numeración.

8.- Una vez realizada la introducción, se procedió a la prueba de reconocimiento de puntos a 2s. Se le informó al usuario lo siguiente:

“Al inicio de prueba tendrás un breve descanso, al escuchar un *beep* se te desplegará una serie de puntos de forma aleatoria, los puntos pueden ser hasta 3. Una vez ubicando los puntos necesito que los pronuncies en voz alta su numeración de cada uno de ellos. El carácter aparecerá durante 2s y tendrás 2s de descanso para procesar la información. Posteriormente, cambiará de forma automática al siguiente carácter y escucharas un *beep*, cualquier omisión será considerada como error”.

9.- Una vez realizada la prueba de reconocimiento de puntos a 2s. Se informó al usuario que se procedería a la siguiente prueba, la cual sería un poco más lenta y se reiteró el proceso de información. Este proceso se repitió de igual forma para las pruebas de 3s y 4s.

5.2 Prueba de reconocimiento de caracteres (letras)

Esta prueba se realizó a sujetos con discapacidad visual que cuentan con un conocimiento del lenguaje braille avanzado, la idea primordial es analizar la aceptación del sistema, fiabilidad, y errores generados durante la lectura.

La prueba consiste en el reconocimiento de caracteres completos (letras del alfabeto español), que se desplegaron de forma aleatoria en la celda braille (apéndice 10.3) a tiempos definidos con ayuda del módulo de lectura (capítulo 4.2.1).

Los tiempos se definieron de la siguiente manera 2s, 2.5s, 3s y tiempo libre con la finalidad de analizar el comportamiento de los errores a diferentes lapsos.

Se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- 1.- Al inicio de la prueba se realizó una breve descripción del procedimiento y sus fines de investigación.
- 2.- Se ubicó al sujeto en la zona de trabajo, sentado frente al dispositivo y garantizando la correcta postura para la lectura.
- 3.- Se realizó una introducción al sistema para dar un acercamiento a su ubicación, y morfología de la celda braille de manera táctil.
- 4.- Se realizó una breve introducción al proyecto, analizando los diferentes módulos que componen el sistema.
- 5.- Se realizó una encuesta de satisfacción al usuario (apéndice 10.1) para el análisis de la fidelidad y aceptación del proyecto.
- 6.- Con ayuda del módulo de reconcomiendo de celda (capítulo 4.2.1) se realizó una orientación espacial de la celda, desplegando uno a uno los diferentes puntos y haciendo énfasis en los puntos 1, 3, 4, 6 (puntos limites).
- 7.- Se pidió al usuario durante esta fase de introducción realizar el reconocimiento de diversos caracteres y que pronunciara en voz alta el carácter reconocido.

8.- Una vez realizada la introducción, se procedió a la prueba de reconocimiento de caracteres con tiempo indefinido. Se informó al usuario lo siguiente:

“Al inicio de prueba tendrás un breve descanso, al escuchar un *beep* se te desplegará un carácter del alfabeto de forma aleatoria. Una vez identificado el caracter necesito que lo pronuncies en voz alta. El carácter aparecerá hasta que proporciones una respuesta, posteriormente cambiará de forma automática al siguiente caracter y escucharás un *beep*. En caso de no detectar el caracter puedes simplemente decir no lo sé y procederemos al siguiente”.

9.- Una vez realizada la prueba de reconocimiento de caracteres a tiempo indefinido. Se informó al usuario que se procedería a la siguiente prueba, realizando una breve explicación del proceso de la prueba.

“Al inicio de prueba tendrás un breve descanso, al escuchar un *beep* se te desplegará un caracter (letra del alfabeto) de forma aleatoria. Una vez identificado el caracter necesito que los pronuncies en voz alta. El caracter aparecerá durante 2s, cambiará de forma automática al siguiente caracter y escucharas un *beep*, cualquier omisión será considerada como error”.

10.- Este proceso anterior se repitió de igual forma para las pruebas de 2.5s y 3s.

5.3 Prueba de reconocimiento de palabras

Esta prueba se realizó a sujetos con discapacidad visual que cuentan con un conocimiento del lenguaje braille avanzado, la idea primordial es analizar si el usuario comete errores de agregado de caracteres u omisión, en la literatura se exponen estos errores aunados a un proceso de inferencia de las palabras durante la lectura. Estudiar este fenómeno es importante para el estudio del proceso aprendizaje-enseñanza del braille.

La prueba consistió en el despliegue de caracteres de una palabra (uno a uno), en lapsos definidos, al final de la palabra se proporcionó un tiempo al usuario para procesar la información y mencionar la palabra inferida.

Los tiempos se definieron a 2s, 2.5s y 3s entre caracter y caracter, con la finalidad de analizar el comportamiento de los errores a diferentes tiempos.

Se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

1.- Se realizó la prueba de reconocimiento de caracteres previamente, tomando en cuenta todo el proceso del protocolo.

2.- Se dio un tiempo de descanso al usuario antes de comenzar la prueba de 2 min.

3.-Se informó al usuario lo siguiente:

“Al inicio de la prueba tendrás un breve descanso, al escuchar un beep se te desplegara un caracter (letra del alfabeto) el cual se mantendrá durante 2s, posteriormente cambiara de forma automática al siguiente caracter y escucharás un beep, este proceso continuará hasta terminar la palabra, con lo cual se te dará un tiempo de 12s para procesar la información. Durante este proceso necesito que me digas la palabra que leíste, cualquier omisión será considerada como error”.

4.- Este proceso anterior se repitió de igual forma para las pruebas de 2.5s y 3s.

Durante toda la fase de pruebas, se realizó el almacenamiento de audio para análisis posterior de datos, además de una evaluación en momento por parte del personal que realiza la prueba.

6. Resultados

6.1 Prueba de reconocimiento de puntos en la celda braille

Se analizó el porcentaje de acierto en todos los sujetos a los diferentes lapsos, como se muestra en la figura 49.

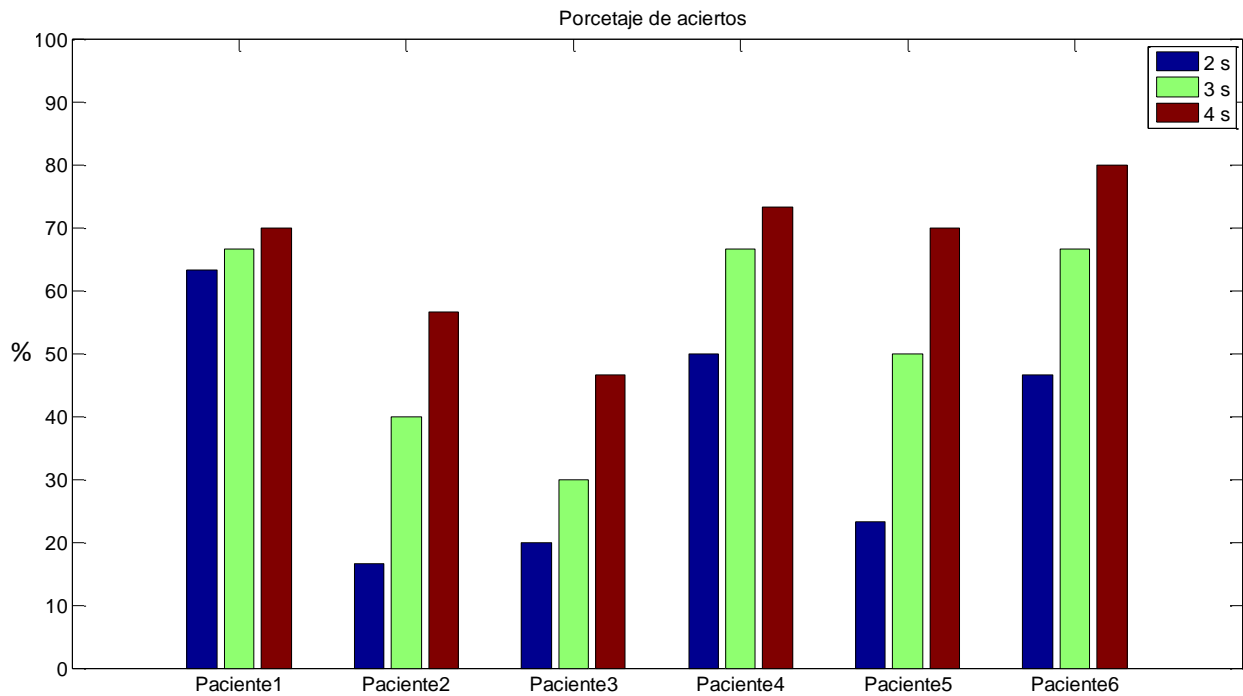


Fig. 49 Porcentaje de aciertos en pruebas de detección en puntos (2s,3s,4s).

Como se puede observar, existe un aumento en el número de aciertos con respecto al incremento de tiempo en todos los sujetos, sin embargo, de igual manera se observa que existe alta variabilidad. Por lo que este estudio podría no ser concluyente.

Se determinó el tipo de error durante cada prueba a partir de lo establecido en la literatura [15], tomando como determinante la prueba a 4s.

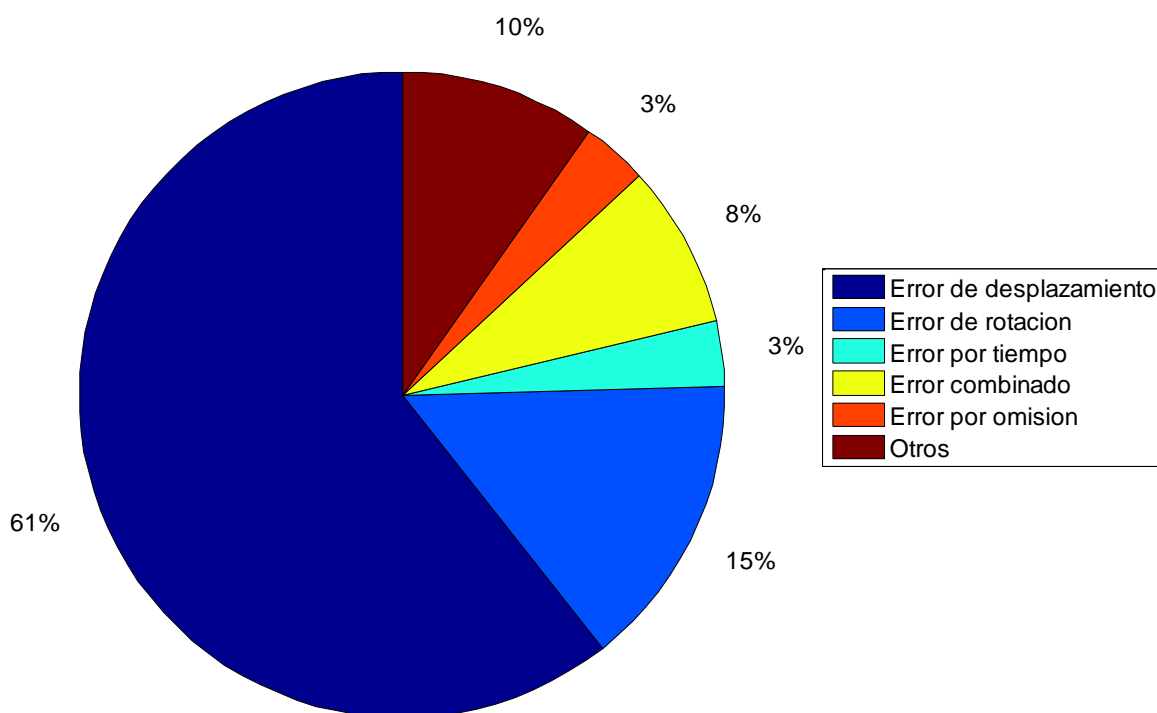


Fig. 50 Porcentaje de errores por tipo (error por desplazamiento, error por rotación, error por tiempo, error combinado, error por omisión de puntos)

El error más presentado fue el de desplazamiento de puntos seguido del error por rotación de puntos lo cual coincide con la literatura [15][16], como se muestra en la figura 50.

6.2 Prueba de reconocimiento de caracteres (letras)

Se analizó el porcentaje de acierto en ambos sujetos, observándose una baja variabilidad en el sujeto 1 como se muestra en la figura 51.

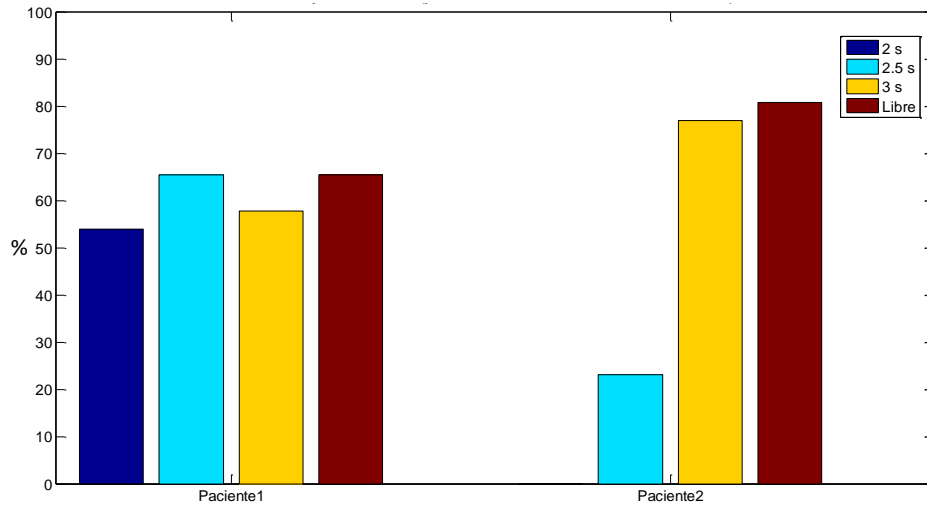


Fig. 51 Porcentaje de aciertos (paciente 1, paciente 2) pruebas a 2s, 2.5s, 3s, tiempo libre.

De igual forma se analizó el porcentaje de error por tipo para ambos sujetos, encontrando con mayor permanencia el error por omisión seguido del error rotación y traslado como se muestra en la figura 52.

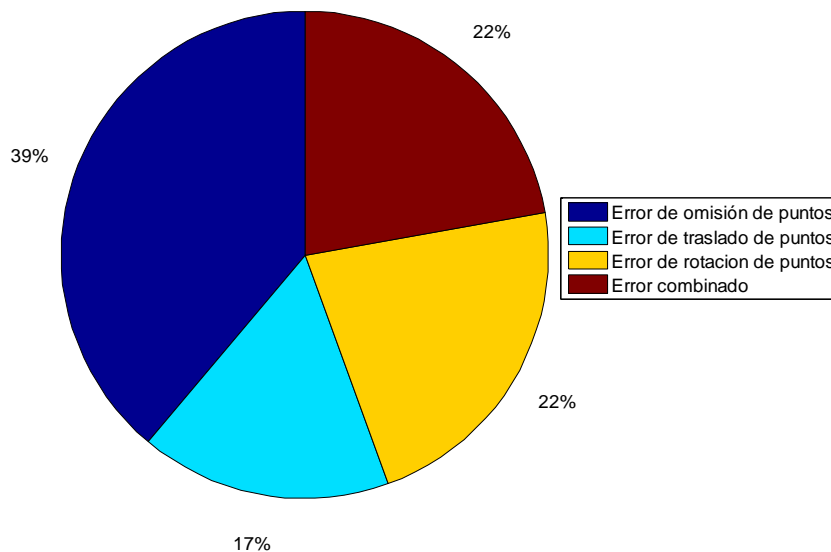


Fig. 52 Porcentaje de errores por tipo (error por omisión de puntos, error por traslado de puntos, error por rotación de puntos, errores combinados)

6.3 Prueba de reconocimiento de palabras

Finalmente se determinó el porcentaje de aciertos en ambos sujetos en la prueba de reconocimiento de palabras, observándose una baja variabilidad, y un bajo porcentaje de detención de las palabras en caso de del sujeto 2.

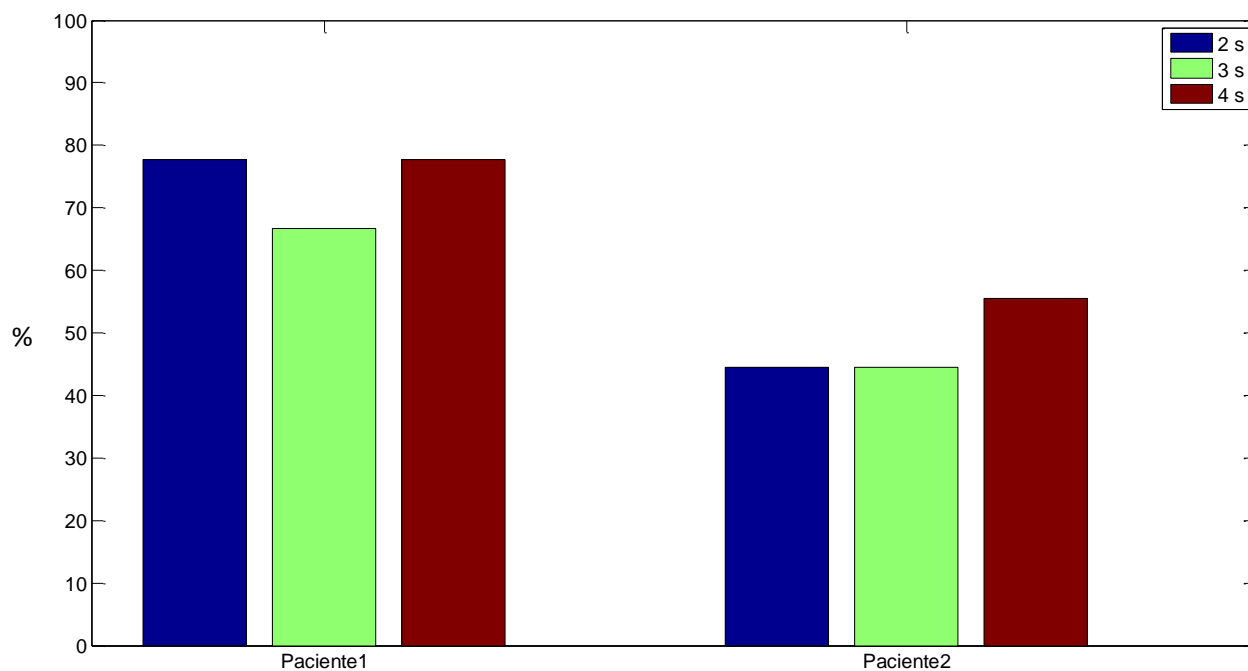


Fig. 53 Porcentaje de aciertos, prueba de reconocimiento de palabras (sujetos invidentes)

7. Discusión:

En la prueba de análisis de puntos, se encontró una alta variabilidad entre los diferentes sujetos con discapacidad visual, por tanto, para poder establecer un tiempo de lectura óptimo, es necesario una mayor cantidad de registros.

Se observó un aumento en el porcentaje de acierto en todos los sujetos con respecto al tiempo. Aunado a esto el porcentaje de errores por tipo, se vio modificado a diferentes lapsos, en pruebas con lapsos de 2s se obtuvo un mayor número de errores indeterminados o por falta de tiempo para la identificación, mientras que en pruebas con lapsos de 4s se obtuvo un mayor número de errores por desplazamiento y rotación.

Tanto los sujetos que tienen su primer acercamiento al sistema como los sujetos invidentes con amplia experiencia en el braille, muestran similitudes en los tipos de errores, especialmente se encontraron continuamente errores de rotación en caracteres simétricos como son la d, j, r, w.

Durante la experimentación se encontró que el sentido táctil de las personas con discapacidad visual suele estar muy desarrollado. Detalles mínimos pueden cambiar la percepción o dificultar la identificación del carácter braille. En pruebas iniciales, se colocó una cubierta elástica para proteger la yema de los dedos del usuario; sin embargo, ésta dificultaba la interpretación del carácter aumentando el tiempo de reconocimiento.

Aunado a esto, se discute la necesidad de contar con un mayor número de celdas. Esto se debe a que algunos caracteres como números o signografías son precedidos por un símbolo de interpretación y el carácter que se desea desplegar. De igual forma, dentro del entorno educativo el aprendizaje es un proceso de asimilación de palabras, sílabas, operaciones matemáticas y no solo de caracteres individuales, por tanto, para una mejor adaptación del dispositivo al ambiente escolar es necesario el desarrollo de un mayor número de celdas y adaptaciones en el *software* y *app* programados.

8. Conclusiones y perspectivas

Se desarrolló un sistema mecatrónico braille de un caracter, actualizable en el tiempo de bajo costo y con materiales de uso comercial.

El proceso educativo de personas con discapacidad visual posee varias etapas. El dispositivo probó una adaptación de mejor manera a sujetos en etapas tempranas del aprendizaje (etapa 1) del lenguaje braille.

El dispositivo desarrollado es controlado de forma remota por un *smartphone* o una computadora personal incluyendo diferentes herramientas educativas para el desarrollo del alumno. La aplicación desarrollada permite controlar los intervalos de lectura para el usuario y su cursor dentro del texto.

El sujeto con discapacidad visual, al entrar en contacto con el dispositivo, tiende primeramente a explorarlo con el sentido táctil. Por ello, se recomienda crear marcadores que logren dar una interpretación de la posición de la celda braille, así mismo de las entradas y salidas que pueda tener el sistema.

El dispositivo permite la lectura de documentos con extensión .pdf letra por letra, para ser desplegados automáticamente en formato braille. Sin embargo, durante la fase de pruebas, el tiempo de procesamiento de texto para archivos con este tipo de extensión fue alto, por tanto, se optó por crear una biblioteca de archivos para realizar este proceso una sola vez o incorporar textos directamente desde el ordenador.

Programar otros alfabetos en lenguajes como inglés, portugués, francés, etc.

Perspectivas

Diseñar un dispositivo con dimensiones menores a 6 x 10 x 10 cm (altura, ancho, largo), específicamente disminuir la altura del dispositivo.

Para asegurar una mayor portabilidad del sistema se recomienda que la alimentación del sistema sea por baterías recargables, el consumo del dispositivo no es mayor a 200 mA.

El dispositivo se desarrolló mediante comunicación bluetooth, sin embargo, se propone cambiar a comunicación Wifi para el desarrollo de sistemas cliente-servidor en protocolo http, y conexiones remotas.

Incorporar un mayor número de contenido educativo como signografías, matemáticas, formulas básicas, etc.

Si se mantiene la comunicación *bluetooth* en el dispositivo, se requiere mejoras en el *software* de paridad *bluetooth* por medio de *broadcast receiver* en Android Studio.

Incorporar dispositivos de entrada para el usuario, como una celda braille con botones o teclado braille, para el desarrollo de otro tipo de actividades educativas.

Incrementar el tablero o celdas braille para el despliegue completo de palabras o párrafos.

9. Referencias

- [1] Secretaria de Educación, (2018, Marzo 3). Networks (2nd ed.) [Online]. Disponible: <http://eespecial.sev.gob.mx/difusion/visual.php>
- [2] Instituto de Educación de Aguascalientes, “Guía de Atención Educativa para con Discapacidad Visual”.
- [3] INEGI, “La discapacidad en México datos al 2014”.
- [4] Instituto de Salud Pública, (2018, Mayo 5). Networks (2nd ed.) [Online]. Disponible: <https://www.insp.mx/avisos/3652-diabetes-en-mexico.html>
- [5] Clutha Mackenzie, “Escritura Braille en el Mundo”, UNESCO, 1953.
- [6] Harmon, Angela, Braille, Salem Press Encyclopedia, 2016.
- [7] Comisión Braille Española, “Parámetros Dimensionales del Braille”, ONCE, Madrid 2014.
- [8] Comisión Braille Española, “Guías de la Comisión Braille Española Signografía Básica”, ONCE, Madrid 2005.
- [9] Premkumar T., “Display by Rotating Multi-Octagonal”, en International Conference on innovations in Power and Advanced Computing Technologies, 2017.
- [10] Syed Adnan Akhtar, Dinkar Prasad, “Braille Refreshable Display Using Lead Screw Actuation,” en IEEE Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, computer and electronics.
- [11] Gabriel B. Holanda, João Wellington M. Souza, Daniel A. Lima “Development of OCR system on android platforms to aid reading with a refreshable braille display in real time”, EISEVIER, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.02.021>.
- [12] Comisión Braille Española, “Signografía Básica”, ONCE, Madrid 2018.

- [13] WHO, “Informe mundial sobre la discapacidad 2011”
- [14] Anupama Thomas, Elizabeth Rufus, “Alternate braille display designs: A review”, *Technology and Disability* 28 (2016) 123–132, DOI 10.3233/TAD-160451.
- [15] Alberto Rosa, Juan A. Huerta, “Peculiaridades de la lectura táctil del braille”, Universidad autónoma de Madrid, ISSN 0210-3702.
- [16] Gordon E. Legge, Cindee M. Madison, “Measuring Braille reading speed with the MNREAD test”, University of Minnesota, *Visual Impairment Research* – 1999, Vol. 1, No. 3, pp. 131-145.
- [17] Yoseph Bar-Cohen, “Refreshable Braille displays using EAP actuators”, Jet Propulsion Lab, California Institute of Technology, Pasadena, CA 91109-8099.
- [18] Comisión Braille Española, “La didáctica del braille más allá del código”, ONCE, Madrid 2015.
- [19] Barry Hampshire, “La práctica del braille”, UNESCO, 1981.
- [20] Seung-Chan Kim, Ali Israr, “Tactile Rendering of 3D Features on Touch Surfaces”, ACM 978-1-4503-2268-3/13/10.

10. Apéndices

10.1 Encuesta de satisfacción

¿Qué similitud encontró con respecto a la celda braille estándar? Donde 1 es similar y 5 es totalmente diferente

1	2	3	4	5

¿Con que facilidad lograste detectar los puntos braille?

Muy facil	Facil	Normal	Difícil	Muy difícil

¿Detectaste algún tipo de vibración durante la operación del dispositivo? Donde 1 es no sentí vibración y 5 sentí mucha vibración

1	2	3	4	5

¿Qué tan cómodo te resulto el dispositivo? Donde 1 es muy cómodo y 5 nada cómodo.

1	2	3	4	5

¿Cuántas celdas braille considerarías adecuadas para este propósito?

1	2	4	8	Otro numero

¿Consideras que el dispositivo proporcionaría una herramienta apreciable para el aprendizaje del lenguaje braille? Donde 1 es muy apreciable y 5 nada apreciable.

1	2	3	4	5

¿Qué usos o aplicaciones le daría al sistema?

¿Tiene alguna idea diferente para coadyuvar en el proceso de aprendizaje braille? O ¿Qué otra necesidad ha detectado?

¿Estaría dispuesto a usar una herramienta tecnológica para el proceso enseñanza-aprendizaje? Donde 1 es muy dispuesto y 5 es nada dispuesto.

1	2	3	4	5

¿Qué tiempo estaría dispuesto a invertir?

15 min	30 min	45 min	1 h	2h

¿Qué tan intuitiva te pareció la aplicación? Donde 1 es muy intuitiva y 5 es nada intuitiva

1	2	3	4	5

¿Qué tan accesible considera los diferentes módulos de aprendizaje? Donde 1 es muy accesible y 5 es nada accesible (me pierdo).

1	2	3	4	5

¿Estaría usted dispuesto a adquirir un dispositivo como este o similar? Donde 1 es lo adquiriría y 5 es no me agrada.

1	2	3	4	5

¿Qué recomendaciones nos daría para mejorar nuestro desarrollo del dispositivo?

Para nosotros es muy importante su participación para mejorar nuestro sistema, se le agradece grandemente su tiempo y participación.

10.2 Prueba de reconocimiento de punto

~		¼
1	16	56
#	°	«
2	23	124
\$	{	»
3	24	235
%	}	£
4	25	245
^	[¥
5	26	356
&]	®
6	34	145
/	@	ë
12	35	256
+	½	ï
13	36	134
*	Ç	ö
14	45	146
-	ä	ç
15	46	234

10.3 Prueba de reconocimiento de letras

Paciente1																										
Prueba de caracteres (tiempo libre)																										
s	u	b	x	w	k	r	a	y	f	m	g	t	n	p	z	c	o	i	h	l	e	d	v	q	j	
Prueba de caracteres (2,5s)																										
j	t	r	n	e	a	l	g	b	y	v	w	p	z	i	o	k	q	h	m	x	u	d	s	c	f	
Prueba de caracteres (2s)																										
t	p	x	g	w	h	v	k	e	n	z	q	j	r	i	s	a	b	o	u	c	m	f	y	l	d	
Prueba de caracteres (3s)																										
e	w	h	f	o	q	y	v	l	i	j	u	c	z	n	k	s	x	p	d	a	g	t	b	r	m	

10.4 Prueba de reconocimiento de palabras

Prueba de palabras (3s)									
boda	enero	animal	coche	comida	fin	sol	mes	luna	
Prueba de palabra (2s)									
sal	cama	cabeza	mano	beso	mañana	paz	tu	aguija	
Prueba de palabra (4s)									
futuro	los	casa	rojo	el	camino	mas	dado	sujeto	