

DISPOSITIVO INTERCOMUNICADOR PARA PERSONAS SORDOCIEGAS

DARÍO RIVILLAS OSSA
JULIÁN DAVID TOVAR ROJAS

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
BOGOTÁ D.C.
2020

DISPOSITIVO INTERCOMUNICADOR PARA PERSONAS SORDOCIEGAS

DARÍO RIVILLAS OSSA
JULIÁN DAVID TOVAR ROJAS

Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Electrónico y de Telecomunicaciones

Director
JOSÉ ROBERTO CUARÁN VALENZUELA
Ingeniero Electrónico, MSc.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
BOGOTÁ D.C.
2020



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá, 16 de junio de 2020

Este trabajo de grado está dedicado a las personas que con algún tipo de discapacidad luchan diariamente por superar sus limitaciones y hacen de su condición una oportunidad para ser mejores personas.

Un dispositivo como el que se realizó acerca a estas personas y les otorga una herramienta para un proceso con el que la mayoría de las personas contamos a diario, pero que para ellos es todo un esfuerzo incluso el saludar.

AGRADECIMIENTOS

Después de un largo recorrido hasta este momento, le damos gracias a la vida por haberlo permitido. Que esta sumatoria de experiencias y de conocimientos nos permitieron aportar un granito de arena para una población que tiene recursos limitados. Recursos como el de la visión y escucha.

Un agradecimiento especial a nuestros profesores por los conocimientos otorgados, a las herramientas de los laboratorios que iniciaron nuestros primeros ejercicios prácticos, a las personas que administraban los laboratorios donde pasamos mucho tiempo de la carrera universitaria, que nos aportaron conocimiento y experiencias.

Gracias y mil gracias a la Universidad que otorga los espacios y recursos necesarios para desarrollar los procesos que han logrado nuestra tesis hoy.

CONTENIDO

	pág.
GLOSARIO	15
INTRODUCCIÓN	16
1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN	18
1.1 ANTECEDENTES	18
1.2 JUSTIFICACIÓN	29
2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	31
3. MARCO DE REFERENCIA	33
3.1 MARCO TEÓRICO	33
3.1.1 Sistemas de comunicación para personas sordociegas.	33
3.2 MARCO CONCEPTUAL	42
3.2.1 Tiflotecnología	42
3.2.2 Sistema alternativo de comunicación (SAC)	42
3.2.3 Dispositivo de asistencia o tecnología de asistencia	43
3.2.4 Partes y componentes del dispositivo braille	43
3.2.5 Partes del dispositivo focus blue 14	44
3.2.6 Partes y componentes del dispositivo e_braille	45
3.2.7 Partes y componentes del Guante móvil Lorm	47
3.2.8 Dispositivos virtuales	48
4. OBJETIVOS	52

4.1 OBJETIVO GENERAL	52
4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	52
5. ALCANCES Y LIMITACIONES	53
6. METODOLOGÍA	54
6.1 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	54
6.2 DISEÑO	54
6.3 IMPLEMENTACIÓN	55
6.4 PRUEBAS	55
7. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	57
7.1 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA	57
8. DISEÑO	59
8.1 INTERFAZ DE USUARIO CON DISCAPACIDAD	59
8.2 INTERFAZ DE USUARIO SIN DISCAPACIDAD	60
8.3 UNIDAD DE CONTROL	61
8.4 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN	62
8.5 DISEÑO DE PCB	63
8.6 DIAGRAMA DE FLUJO	67
9. IMPLEMENTACIÓN	68
9.1 ENSAMBLE.	68
9.2 MONTAJE DE LA INTERFAZ DE LECTURA DEL USUARIO CON DISCAPACIDAD	69
9.3 MONTAJE DE LA INTERFAZ DE ESCRITURA DEL USUARIO CON DISCAPACIDAD	70

9.4 MONTAJE PLACA PBC ARDUINO Y ALIMENTACIÓN	71
9.5 PROGRAMACIÓN	72
10. PRUEBA DEL DISPOSITIVO	73
11. ANALISIS DE RESULTADOS	77
12. CONCLUSIONES	79
13. RECOMENDACIONES Y MEJORAS	80
BIBLIOGRAFÍA	81
15. ANEXOS	85
ANEXO A. DIAGRAMA DE FLUJO	85
ANEXO B. MANUAL DEL USUARIO	86
ANEXO C. CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN	88

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Clasificación de los sistemas de comunicación	344
Tabla 2. Requerimientos generales del sistema	58
Tabla 3. Descripción de salidas en el Arduino	62
Tabla 4. Descripción de combinaciones de las letras en la escritura	75
Tabla 5. Consumo de corriente por cada elemento del circuito	77

LISTA DE CUADROS

pág.

Cuadro 1. Clasificación de trabajos enfocados en atender a la población sordociega.

19

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Ubicaciones de presentación de los dispositivos y tecnologías de asistencia para personas con discapacidad visual y auditiva Actividad de patentes.	27
Figura 2. Mapa conceptual de desglose de tecnología de asistencia / mejora / restauración para dispositivos y tecnologías de asistencia para personas con discapacidad visual y auditiva.	28
Figura 3. Alfabeto dactilológico táctil español	35
Figura 4. Alfabeto Morse	37
Figura 5. Trazos en el sistema de escritura en letras mayúsculas	38
Figura 6. Esquema del alfabeto de Malossi	39
Figura 7. Esquema del alfabeto Lorm	40
Figura 8. Alfabeto braille manual	41
Figura 9. Dispositivo Focus Blue 14	44
Figura 10. Vista Superior Focus Blue	45
Figura 11. Partes y Componentes de Braille Electrónico	456
Figura 12. Guante móvil Lorm	47
Figura 13. Icono aplicación BrailleBack	48
Figura 14. Letra “a” visualizada en la aplicación Braille Slate	49
Figura 15. Interfaz de la aplicación Super Braille Keyboard	51
Figura 16. Diagrama de flujo de la metodología	56
Figura 17. Módulos del dispositivo	57
Figura 18. Interfaz persona sordociega	60
Figura 19. Comunicación serial intercomunicador y computador	61

Figura 20. Diagrama puertos utilizados en el sistema	62
Figura 21. Diagrama módulo de carga y características	63
Figura 22. Diagrama circuital	65
Figura 23. Diagrama placa de componentes	66
Figura 24. Esquema caja de proyectos	68
Figura 25. Matriz de lectura interna y externa	69
Figura 26. Matriz de lectura interna protegida y cableada	69
Figura 27. Botones de escritura vista externa e interna	70
Figura 28. Teclas de escritura parte frontal y posterior cableada	70
Figura 29. Posición PCB, motor y módulo de carga	71
Figura 30. Posición final de todo el sistema	71
Figura 31. Modulo final (vista frontal y lateral)	72
Figura 32. Interfaz usuario sin discapacidad (enviando letras "Q" y "X")	73
Figura 33. Matriz de lectura. Letra "Q"	74
Figura 34. Matriz de lectura. Letra "X"	74
Figura 35. Intercomunicador proceso lectura	76
Figura 36. Intercomunicador proceso escritura	76

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Diagrama de flujo	85
Anexo B. Manual del usuario	86
Anexo C. Código de programación	88

GLOSARIO

BRAILLE: Sistema de tipo táctil usado en su mayoría por personas con alguna discapacidad visual o ceguera total para escribir o leer en su entorno según corresponda.

INTERCOMUNICADOR: Dispositivo de comunicación usualmente privado entre las personas en el cual interactúan partes electrónicas o electromecánicas para mejorar o dar fluidez a la comunicación.

MODULO DE CARGA: Sistema para efectuar la carga de las baterías de Litio y que también sirve como protección ante subidas de tensión inesperadas que pueden

RELÉ: Dispositivo electromagnético que funciona como un interruptor que acciona uno o varios contactos que abren o cierran circuitos de acuerdo con la necesidad.

TIFLOTECNOLOGÍA: Conjunto de técnicas y teorías empleadas para ser aplicadas en personas con discapacidad visual y auditiva aprovechando los recursos tecnológicos para que sean utilizados por estas personas como una herramienta de ayuda en procesos de aprendizaje e integración social.

INTRODUCCIÓN

En un mundo cada vez más interconectado, donde la noción de distancia y comunicación ha cambiado y se presume de la globalización en muchos aspectos de la vida cotidiana, resulta inverosímil creer que existen personas que por condiciones adversas no puedan lograr una interacción efectiva con su entorno y estén confinadas a la discapacidad como si esta significara la imposición de una vida relegada al abandono o a la inferioridad perpetua de quienes la padecen. Es la tecnología la alternativa seleccionada por el hombre para realizar los desarrollos pertinentes para superar sus deficiencias y fortalecer sus habilidades en el sentido de alcanzar una calidad de vida estable; lo cual en personas con discapacidades auditivas y audiovisuales puede que se haya logrado, pero no se ha masificado a tal punto que existen grupos de personas que padecen esta condición y que aún están relegadas a una comunicación compleja que dificulta su integración a la sociedad.

Es importante precisar, que la sordoceguera se puede definir como la composición de dos insuficiencias sensoriales como lo son la visual y la auditiva, lo que dificulta a los individuos lograr establecer una comunicación con las demás personas y además dificulta el entendimiento de los demás en cuanto a lo que se pretende transmitir por parte del emisor. Adicionalmente, es de señalar que esta no es una doble discapacidad, sino que se debe entender como una sola incapacidad que, al formarse por las pérdidas de la vista y el oído, impide que la persona que la sufre no logre establecer una comunicación clara con las demás personas¹.

En este orden de ideas, debe ser un propósito encaminar los esfuerzos necesarios para que este grupo de personas alcancen un nivel de comunicación óptimo, eficiente y al alcance de todos para integrarlos de manera efectiva a su entorno, razón para que desde la academia y en específico desde este trabajo de grado se aborden dichas cuestiones y se proyecte una solución que permita un medio de comunicación asequible, para potencializar la comunicación de los sordociegos con su medio. Las herramientas de comunicación que se desarrollan para mantener un mínimo de comunicación pueden y deben ser potencializados por medio de la tecnología.

En la actualidad el lenguaje oral ha dejado de ser una barrera cultural y ha pasado a un segundo plano por las facilidades de comunicación que se han desarrollado, las cuales como se pretende en esta investigación, deben hacerse extensivas a

¹ ASOCIDE. Definición de la sordoceguera. [En línea]. Recuperado en 2019-9-12. Disponible en: <https://www.asocideandalucia.org/sordoceguera/definicion-de-la-sordoceguera>

todos los grupos poblacionales, incluidos desde luego aquellos que padecen discapacidades como lo son los sordociegos.

En este trabajo de grado se presenta un dispositivo intercomunicador entre una persona discapacitada sordociega y una persona sin discapacidad. El intercomunicador se acopla a un computador para que sirva como interfaz de interacción de la persona sin discapacidad y el otro extremo es el dispositivo donde la persona discapacitada lograra comunicarse.

Es importante destacar, que la persona discapacitada cuente con conocimiento en lenguaje Braille, y la persona sin discapacidad tenga conocimiento básico de escritura de su lenguaje original.

El dispositivo, por medio de comunicación serial y un computador, traduce el lenguaje de las personas simultáneamente. El corazón que transforma el lenguaje de palabras (signos gráficos) en la matriz de lectura del lenguaje Braille es Arduino Uno, que es un microcontrolador de código abierto.

1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

1.1 ANTECEDENTES

Contrario al imaginario social, los trabajos enfocados en atender la población sordociega a nivel mundial no cuentan con líneas de trabajo claramente definidas, ni campos de acción delimitados que permitan un desarrollo articulado y progresivo de soluciones; de hecho, es notorio que muchas de estas investigaciones asumen que ciertos elementos serán desarrollados por otras áreas del conocimiento para que de esta manera se cumplan sus postulados.

Aun así, se pueden diferenciar en tres grandes grupos de trabajos previos: los que investigan las relaciones de las personas sordociegas con su entorno desde la psicología y las áreas humanísticas; aquellos que formulan planes de intervención para atender la población en escenarios y espacios determinados (enseñanza, lugares públicos, fábricas, etc.), por último y en menor medida, los que proponen prototipos de adaptación para mitigar los efectos de su condición.

A continuación, se reseñan algunos de los mayormente relevantes de cada grupo (véase cuadro 1):

Cuadro 1. Clasificación de trabajos enfocados en atender a la población sordocega.

Item	Título	Fuente	Problema	Conclusiones
1.	Diseño y construcción de un prototipo de telecomunicación para las personas con limitación auditiva, aplicado en actividades deportivas basado en ayudas aumentativas ² .	Universidad Pedagógica Nacional	Fomentar espacios y actividades que permitan la inclusión (en el deporte) de personas con discapacidad auditiva mediante la homologación del sentido del audio en la recepción de información en contextos específicos.	Desarrollo de un sistema portátil que mediante módulos de secuencias de vibraciones provee información a la persona con discapacidad auditiva; requiere identificar y sistematizar los diferentes actores de la actividad y aunque permite un uso extensivo a otras actividades requiere una programación previa.
2.	Desarrollo tecnológico para el mejoramiento de la comunicación a distancia entre personas con discapacidad ³ .	Universidad Distrital de Bogotá	Dotar a las personas en situación de discapacidad un medio que les permita un nivel superior de autonomía y productividad que de un mayor acceso a oportunidades de integración en sociedad.	Desarrollo de un prototipo de comunicación basado en la codificación y descodificación adaptativa con una interfaz accesible que mediante un proceso inteligente fortalece las competencias comunicativas.
3.	Necesidades que perciben los educadores para atender a la población con sordoceguera ubicada en aulas especiales ⁴ .	Universidad de Costa Rica	Identificar las necesidades detectadas por los educadores de población con discapacidad y de esta forma optimizar y regularizar la atención a este grupo dese la integración.	Se elabora un listado de recomendaciones y elementos claves requeridos para una integración exitosa en el ámbito educativo de personas con sordoceguera, de igual forma se analiza el rol del docente y las habilidades sociales que deben desarrollar o potencializar.

Fuente: Elaboración propia.

² CÁRDENAS B., Cristian. Diseño y construcción de un prototipo de telecomunicación para las personas con limitación auditiva, aplicado en actividades deportivas basado en ayudas aumentativas. Trabajo de grado Licenciado. Bogotá D.C.: Universidad Pedagógica Nacional. Departamento de Tecnología, 2016. 66 p.

³ Hernández Suarez, C., & Jiménez Hernández, L. Desarrollo tecnológico para el mejoramiento de la comunicación a distancia entre personas con discapacidad. *Revista Salud Pública*. 2009 pp. 828 - 835.

⁴ Camacho H., Elizabeth. Necesidades que perciben los educadores para atender a la población con sordoceguera ubicada en aulas especiales. Trabajo de investigación. San Juan: Universidad de Costa Rica. Sistema de estudios de Posgrado, 2002. 112 p.

A nivel mundial se han desarrollado dispositivos para soportar la comunicación basada en el deletreo de dedos y en braille por personas sordociegas, sin que este método sea el único o se haya comprobado su eficiencia superior; de hecho, en diferentes trabajos académicos admiten que muchos de ellos no han superado la etapa de prototipo y otros han sido descontinuados, pero todavía hay varios dispositivos en uso.

Las ayudas táctiles para personas con discapacidades se refieren a dispositivos dedicados a los propósitos de "asistencia auditiva y del habla" y "comunicación e interconexión", también se han desarrollado múltiples alternativas según el lenguaje o las características cognitivas del usuario. De ahí se desprende la principal brecha y el reto de estas alternativas es la alta carga cognitiva que requieren, particularmente cierto en un entorno al aire libre donde la interpretación de los estímulos se vuelve desafiante y puede limitar la usabilidad de tales dispositivos⁵.

Adicionalmente, existen una serie de factores que de cierta forma inciden en los resultados que estos dispositivos pueden dar en la población que los utiliza, por ejemplo, Hersh sostiene que la aceptabilidad social es un factor crucial para determinar si se adopta tecnología de asistencia y el temor a la estigmatización puede conducir a la falta de uso o abandono. Los profesionales pueden creer que el uso de la tecnología de asistencia adecuada apoyará la inclusión y alentará la aceptación de los niños discapacitados, mientras que los padres pueden preocuparse de que el uso del dispositivo los estigmatice. Los dispositivos de asistencia también llaman la atención sobre el hecho de que el usuario no es "una persona común" y que otras personas pueden necesitar "comportarse de manera diferente" hacia ellos⁶.

Los dispositivos anteriores de escritura manual admitían la comunicación en una sola dirección, es decir, hablar o escuchar, pero no ambos y generalmente, eran relativamente grandes y caros y debían conectarse a una computadora, obligando a permanecer en un mismo lugar; limitando por si fuera poco también la movilidad; esta tendencia ha evolucionado de la mano de otras tecnologías y mantiene elementos constantes, como lo es su concentración en países desarrollados con sistemas educativos eficientes y acceso a tecnologías a costo razonable.

⁵ Sorgini, F., Calìò, R., Carrozza, M., & Calogero, M. Haptic-assistive technologies for audition and vision sensory disabilities. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 2017. 18 p.

⁶ Hersh, Marion. Deafblind people, stigma and the use of communication and mobility assistive devices. *Technology and Disability*, 2013. 245 p.

Resulta ineludible señalar que los avances tecnológicos de los países en desarrollo en América Latina y el Caribe, se han basado fundamentalmente en la incorporación de tecnologías elaboradas en países desarrollados, ya que por ejemplo los teclados braille que se usan para aplicaciones en el celular son comercializados en una gran variedad en Europa, los Estados Unidos y Canadá⁷.

En ocasiones esta incorporación es incompleta por faltar la adecuación de la tecnología a dichos países, tanto de forma organizativa, cultural, social y económica.

Por otro lado, son comunes las donaciones de equipos que no corresponden a las necesidades o para las que no existe infraestructura o personal calificado para su manejo o mantenimiento. Es por estas razones que el desarrollo de soluciones portables de bajo costo, fáciles de adaptar y mantener, representan una opción práctica y realista para el desarrollo sostenido de métodos y productos accesibles⁸.

Una revisión y análisis de las tecnologías de comunicación asistida como la realizada por la Comisión de Radio Y televisión de Canadá (CRTC), clasifica las alternativas existentes y en las siguientes seis categorías, aunque existe una superposición entre ellas⁹ :

- Nuevas tecnologías de subtítulos en telecomunicaciones (es decir, avances en dispositivos de telecomunicaciones para sordos (TDD), utilizados tradicionalmente para la comunicación de texto a través de líneas telefónicas.
- Avances en la retransmisión de texto mediante redes digitales, como la retransmisión de protocolo de Internet.
- Tecnologías de conversión de voz a texto, que utiliza software para convertir sonidos vocales en palabras escritas (es decir, reconocimiento de voz o tecnologías de reconocimiento de voz más avanzadas).
- Conversión de lenguaje de señas a voz / texto, que convierte el lenguaje de señas a texto o palabra hablada generada por computadora en tiempo real.

⁷TECHNOLOGIES HUMANWARE. Drummondville, Quebec. [En línea]. Recuperado en 2019-10-10. Disponible en: <https://store.humanware.com/hes/brailiant-bi14-braille-display.html>

⁸ Silva, A., Casanova E., Zambrano A., Borges C., & Salazar A. «Experiencias en tecnología portable para comunicación y Monitoreo personal de bajo costo.» IV Congreso Venezolano de Bioingeniería, 2012. 2 p.

⁹ CONNECTUS Consulting Inc. The Evolution of Alternative Communications Technologies for the Deaf Hard of Hearing and Speech Impaired. Reporte, Ottawa: CRTC, 2012. 9 p.

- Tecnologías convencionales como el servicio de mensajes cortos (SMS) y la mensajería instantánea adaptadas para personas con discapacidad auditiva o del habla.
- Desarrollos futuros y aplicaciones que utilizan la computación en la nube y otros avances que facilitan la comunicación para las personas con discapacidad auditiva y del habla.

Los autores Ozioko y Hersh indican que los primeros dispositivos de comunicación se basaban principalmente en el alfabeto manual para sordociegos estadounidenses y en la comunicación receptiva apoyada por una persona sordociega. Eran en forma de manos con dedos móviles que se colocaban en posición vertical y que el oyente podía tocar o pasar la mano, las versiones posteriores tenían propiedades mejoradas.

El primer dispositivo fue desarrollado por el instituto de investigación South-West en San Antonio en 1977. Esto fue seguido por la serie Dexter que comprende Dexter I, II y III y, posteriormente, el alfabeto robótico, RALPH. El primer dispositivo que admitió el alfabeto manual británico fue el handtapper, una placa base horizontal en forma de mano con 12 solenoides vibrantes en su superficie superior y un teclado Braille para controlar el flujo de material y la revisión de mensajes.

El Talking Glove fue desarrollado para permitir que las personas sordociegas de EE. UU transmitan mensajes a personas oyentes y videntes, el software de reconocimiento de ortografía comercial desarrollado posteriormente, GesturePlus, se puede utilizar con el cyberglove disponible comercialmente, pero ambos son costosos¹⁰.

Afirman Ozioko y otros autores que los métodos de interacción persona a máquina desarrollados hasta ahora generalmente dependen del uso de modalidades auditivas y sensoriales de la visión. Sin embargo, esto no funciona para las personas sordociegas debido a las modalidades de audición y visión disminuidas. Esto requiere el desarrollo de herramientas alternativas que les permitan interactuar con el mundo real.

En ausencia de estas dos modalidades sensoriales principales, las personas sordociegas tienen que depender del sentido del tacto para comunicarse e interactuar con el entorno. Por lo tanto, la interfaz táctil se convierte en un componente crítico de cualquier herramienta alternativa destinada a las personas

¹⁰ Ozioko, O., y M. Hersh. «Development of a Portable Two-Way Communication and Information Device for Deafblind People.» Biomedical Engineering, 2015. 10 p.

sordociegas a interactuar con los robots y el mundo real, tanto local como remotamente¹¹.

Solución que en su planteamiento figura relativamente fácil pero que en la práctica ha conllevado a una serie de problemas que aun hoy no se han resuelto de forma definitiva y es el desarrollo de dispositivos periféricos de entrada y salida de información de forma táctil.

El primer dispositivo portátil liviano que podía usarse independientemente de una computadora fue el guante de Glasgow, desarrollado en la Universidad de Glasgow para soportar la comunicación unidireccional de una persona sordociega a una persona con audición y visión. Los prototipos de dispositivos de comunicación bidireccional se han desarrollado recientemente para admitir la comunicación utilizando los alfabetos Lorm y Malossi. La DB-Hand (Deaf-Blind-Hand) para el alfabeto Malossi consiste en un guante equipado con pares de sensores de presión y actuadores táctiles en los 16 puntos de la mano definidos por el alfabeto Malossi.

En palabras sencillas, el guante interactivo DB-HAND incorpora pares de transductores, que se encuentran en los 16 puntos definidos por el alfabeto Malossi; las falanges que se pueden pellizcar y presionar contienen dos símbolos y, en consecuencia, dos pares de transductores. Una vez usado, el guante DB-HAND no evita el agarre de objetos y herramientas ligeras, también sin afectar la sensación táctil de su uso; además, el usuario tiene una mano libre que puede realizar tareas específicas que requieren un mejor agarre o una sensación más precisa de retroalimentación¹².

El Mobile Lorm Glove tiene una matriz de 35 sensores de presión de tela unidos a la palma del guante para transmitir mensajes y 32 motores de monedas sin eje en la parte posterior para recibir mensajes. Desde la Universidad de Arte de Berlín se ha explicado que El Mobile Lorm Glove proporciona dos formas de comunicación particularmente innovadoras para las personas sordociegas.

El usuario del Mobile Lorm Glove ahora puede redactar mensajes de texto y enviarlos a la computadora de mano del receptor. El mensaje recibido puede leerse directamente desde la computadora de mano o traducirse al alfabeto Lorm con Mobile Lorm Glove. Así mismo, el Mobile Lorm Glove funciona como un traductor simultáneo y permite una comunicación con otros sin conocimiento de Lorm. Es así

¹¹ World Intellectual Property Organization . «Assistive Devices and Technologies for Visually and Hearing Impaired Persons.» PATENT LANDSCAPE REPORTS PROJECT, Genova, 2015. 50 p.

¹² Caporusso, N. A Wearable Malossi Alphabet Interface for Deafblind People. IMT Alti Studi Lucca, 2008. 445 p.

como se permite que las personas sordociegas se involucren con un espectro más amplio de personas, mejorando así su independencia¹³.

El Lormer, otro dispositivo basado en Lorm, involucra a los usuarios apoyando una mano sobre la cúpula de un tamiz especial y las cartas que se les comunican a través de un chorro de aire controlado por computadora desde debajo del tamiz, pero su principal limitación es que no es portátil.

De forma análoga, se han desarrollado guantes de traducción (nombre coloquial con el que suelen conocerse estos dispositivos) que hacen uso del sistema Braille y que bajo las mismas premisas presentan una herramienta con algunas ventajas, ya que el uso de un conjunto de símbolos discretos (Braille) en lugar de gestos continuos permite un diseño menos complejo porque los sensores y actuadores no requieren ser leídos o disparados en grupos para adquirir un impulso o producir un estímulo (hay una correspondencia entre caracteres y combinaciones de sensor / actuador). Por lo tanto, el dispositivo usa menos piezas y es más barato¹⁴.

De igual forma se han desarrollado varios tipos diferentes de dispositivos de comunicación táctil basados en Braille, incluidos dispositivos para soportar Braille de dedo y dispositivos en teléfonos móviles o inteligentes. Finger Braille implica el uso de tres dedos en cada mano como teclado Braille o pantalla Braille de una sola celda para transmitir y recibir mensajes respectivamente¹⁵.

El dispositivo de soporte Finger Braille tiene seis sensores y actuadores para permitir una conversación bidireccional. La conexión en cascada de los dispositivos permite una conversación simultánea entre varias personas. Las soluciones de Braille para teléfonos móviles incluyen el teléfono móvil Braille OwnFone recientemente lanzado; y el Real DB Communicator, un teléfono inteligente Braille desarrollado en Eslovenia.

Uno de los dispositivos más comunes que usan el braille como sistema de comunicación es el HoliBraille, que consiste en un sistema de entrada/salida braille que aumenta los dispositivos de pantalla táctil convencionales con retroalimentación vibrotáctil multitáctil; su propuesta es económica y fácil de construir.

¹³ Gollner, U., Bieling, T., & Joost, G. Mobile Lorm Glove – Introducing a Communication Device for Deaf-Blind People. *Einsteinufer* 43, 2012. 127 p.

¹⁴ Choudhary, T., Kulkarni, S., & Pradyumna, R. A Braille-Based Mobile Communication and Translation Glove for Deaf-blind People. 2015 International Conference on Pervasive Computing (ICPC). Goa: Birla Institute of Technology & Science, 2015. 3 p.

¹⁵ Oziokou, O, Taube W, Hershu M, Dahiya R. SmartFingerBraille: A Tactile Sensing and Actuation based Communication Glove for Deafblind People. University of Glasgow, 2017. 2 p.

Sin embargo, tiene algunas limitaciones. Ante todo, los actuadores táctiles están dispuestos estáticamente para adaptarse al método de entrada Braille. Aunque se preveían nuevas configuraciones de hardware estas han tardado en aparecer y siempre están vinculadas a cómo el usuario sostiene el dispositivo e interactúa con la pantalla¹⁶.

Otra adaptación del sistema braille que ha evolucionado a partir del concepto anterior es el sistema Body-Braille que se ha desarrollado como un nuevo canal de comunicación para personas sordociegas que usan 6 motores de micro vibración para presentar un carácter braille. Este desarrollo tiene varias ventajas en comparación con otros sistemas braille, aunque su programación inicial se da en japonés y requiere una adaptación al idioma de salida. El dispositivo de control de Body-Braille se llama "B-brll" y tiene varias interfaces que incluyen RS-232C y DTMF. Se realizaron algunos experimentos básicos para medir la velocidad de lectura de braille y el tiempo medio de lectura para una celda de braille fue de 0.5-1.4 segundos, que es lo suficientemente rápido para algunas aplicaciones útiles¹⁷.

Otros dispositivos braille incluyen mi Vox y el comunicador DB. My Vox ofrece una salida multimodal con pantalla braille de 16 celdas, opciones de pantalla de voz y cristal líquido y entrada de teclado USB. La inclusión de una pantalla braille lo hace costoso y tiene varios componentes, lo que reduce la portabilidad.

El comunicador DB consta de dos componentes que son bastante fáciles de transportar y ambos tienen software adicional instalado, un BrailleNote mPower y el DB-Phone, un teléfono móvil con teclado QWERTY y pantalla visual. Los dos componentes se comunican a través de Bluetooth. El comunicador DB, Real DB Communicator y el teléfono móvil OwnFone están disponibles comercialmente, aunque a precios significativamente altos (alrededor de 85 Euros)¹⁸.

Muchos de los autores que trabajan en desarrollo de soluciones para la comunicación de personas con alguna limitación son coincidentes en señalar que los recientes avances tecnológicos en las modernas tecnologías de detección de bajo costo han impulsado la investigación sobre la interacción humano robot (HRI) hacia el desarrollo de técnicas de interacción naturales e intuitivas.

En respuesta a esto, los investigadores han explorado las interfaces basadas en las

¹⁶ Nicolau, H., Montague, K., Guerreiro, T., Rodrigues, A., & Hanson, V. HoliBraille: Multipoint Vibrotactile Feedback on Mobile Devices. Rochester Institute of Technology, 2015. 18 p.

¹⁷ Ohtsuka, S., Sasaki, N., Hasegawa, S., & Harakawa, T. Body-Braille System for Disabled People. En K. Miesenberger, ICCHP. Berlin: Springer-Verlag, 2008. 682 p.

¹⁸ OWNPHONE. US. [En línea]. Recuperado en 2019-10-24. Disponible en: <https://ownfone.com/buy-ownfone>

modalidades naturales que las personas ya utilizan para interactuar entre sí. Las interfaces de interacción propuestas son intuitivas para los usuarios y no requieren aprender nuevas modalidades de interacción.

Por ejemplo, los gestos con las manos les permite comunicarse con las máquinas y otros humanos. Son una forma intuitiva y sencilla de transmitir información y comandos. El reconocimiento de gestos con las manos (HGR) ha cobrado impulso en el campo de la HRI, convirtiéndose en un importante tema de investigación. Sin embargo, aún faltan soluciones robustas y sin marcadores para el reconocimiento de gestos complejos en tiempo real¹⁹.

Los actuales estudios en este sentido hacen uso de la reciente disponibilidad de dispositivos de entrada innovadores, de bajo costo y listos para usar, como cámaras de luz estructuradas, que han permitido el acceso a un conjunto de datos de entrada más detallado que puede explotarse para mejorar los algoritmos de HGR.

Además, el impresionante desarrollo de la informática de uso general en las unidades de procesamiento de gráficos (GPGPU), junto con un marco de programación moderno consolidado que permite un mayor rendimiento, en las tareas de procesamiento de imágenes realizadas durante HGR.

Sin embargo, aún no se ha encontrado una solución rápida, robusta, natural e intuitiva, ya que los enfoques existentes a menudo requieren una fase de ajuste intensiva, el uso de guantes de colores o sensibilizados, o un marco de trabajo que incorpore más de un sensor de imágenes.

Actualmente la innovación, interés y desarrollo de los temas tecnológicos y académicos es medido tomando en consideración las patentes que se generan con base en estos temas; para las cuestiones de los dispositivos y tecnologías de asistencia para el panorama tecnológico de las personas con discapacidad auditiva y visual.

Estados Unidos es la fuente de actividad preeminente, ya que constituye una proporción significativamente grande de toda la actividad, Japón es la fuente secundaria de actividad; sin embargo, la actividad de estos dos países está en declive, mientras que la actividad China ha crecido sustancialmente.

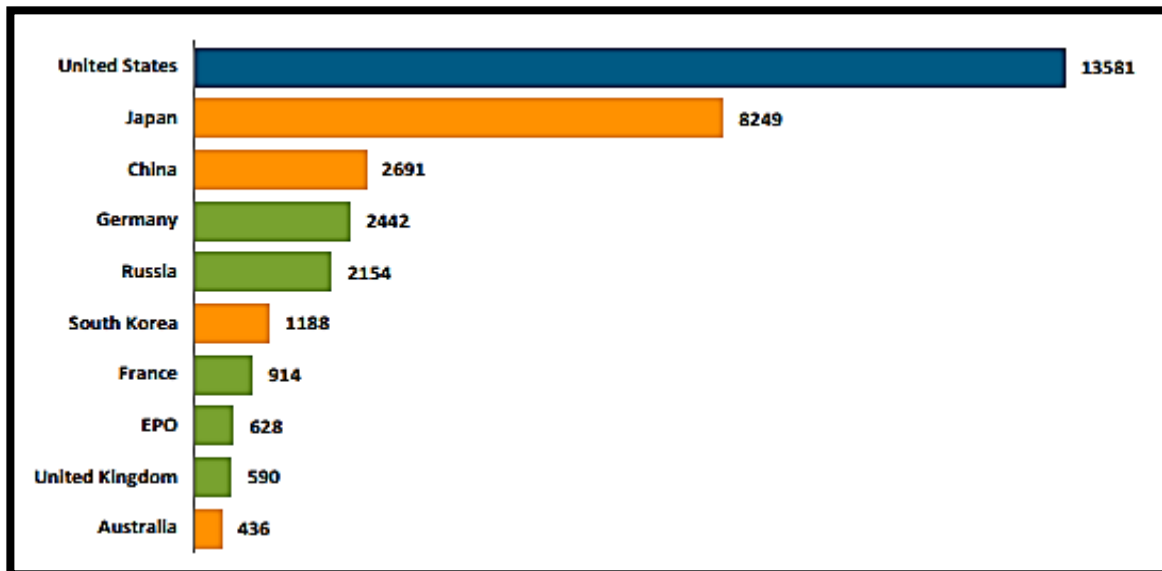
Desde 2004, la actividad de patentes chinas ha aumentado continuamente, superando a Japón en 2010 como la segunda mayor fuente de actividad. Si su trayectoria actual continúa, superará a los Estados Unidos en el futuro cercano

¹⁹ Russo, L.O., y otros. «PARLOMA – A Novel Human-Robot Interaction System for Deaf-Blind Remote Communication.» *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 2014. 12 p.

como la principal fuente de actividad de patentes en este campo tecnológico.

A modo de conclusión se tiene que la actividad de patentes para la mayoría de los principales países comienza a disminuir a un ritmo constante, aparte de China, que está aumentando fuertemente, tal como lo muestra la figura 1²⁰.

Figura 1. Ubicaciones de presentación de los dispositivos y tecnologías de asistencia para personas con discapacidad visual y auditiva Actividad de patentes.



Fuente: WIPO, Guidelines for Preparing Patent Landscape Reports 2015.

Para identificar el potencial de estos avances tecnológicos en pro de la identificación de ayudas para esta población, existen herramientas como ThemeScape; esta es una aplicación de minería de texto que adquiere y analiza texto libre. Los algoritmos que utiliza no requieren la aplicación de Tesoros u otras fuentes externas de información, pues solo utiliza el texto libre.

Cuanto más texto adquiere la aplicación, más probable será que el resultado proporcione un resumen preciso de los principales temas presentes. Después de analizar el texto en varios documentos, reúne aquellos documentos que comparten texto relacionado y separa aquellos con texto menos relacionado.

El resultado se presenta como un mapa topográfico. Cada documento se coloca en el mapa en una posición única que es la suma vectorial de su relación con todos los demás documentos.

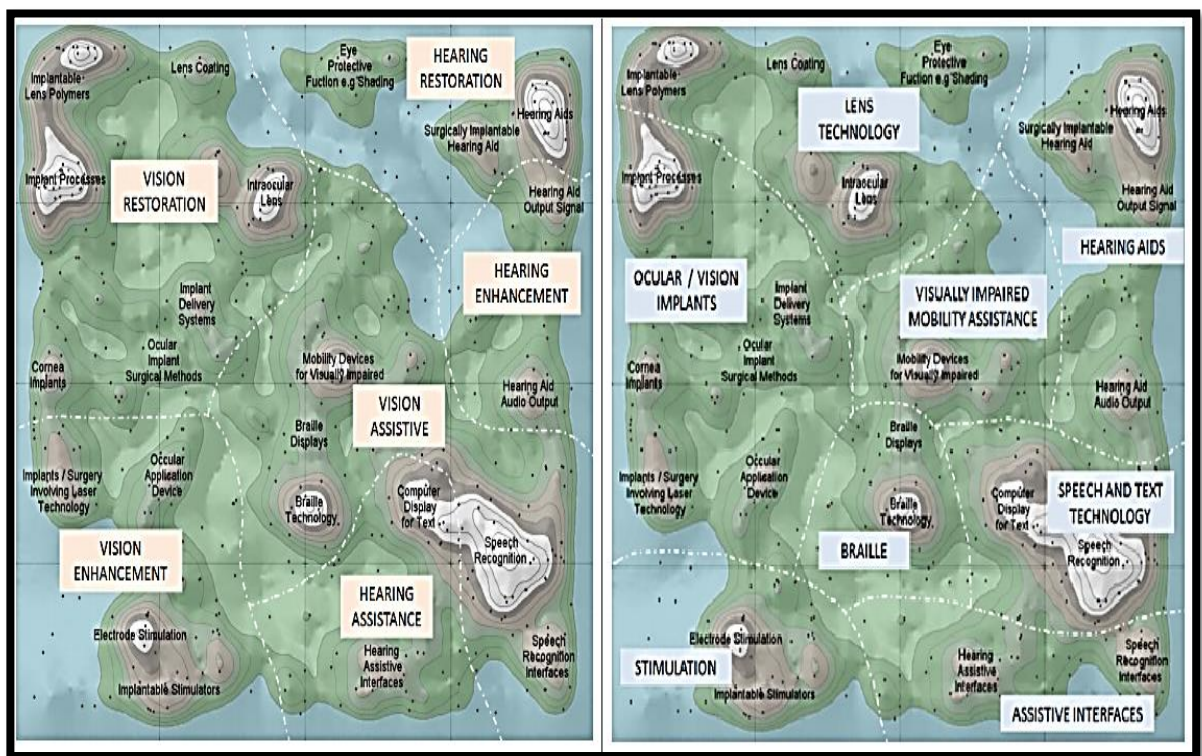
²⁰ World Intellectual Property Organization. Assistive Devices and Technologies for Visually and Hearing Impaired Persons. PATENT LANDSCAPE REPORTS PROJECT, Genova, 2015. 21 p.

Acorde al estudio de dispositivo planteado, esta herramienta posee ejemplos donde se evidencia algunos resultados donde ThemeScape fue aplicado²¹.

La figura 2 muestra resúmenes de estudios realizados para buscar datos que soporten los objetivos planteados para los dispositivos y tecnologías de asistencia para personas con discapacidad visual y auditiva en forma de un mapa conceptual temático.

Esta visualización muestra los conceptos y frases más comunes dentro de la colección del proyecto, y se ha mejorado aún más mediante la anotación de los temas principales. En general, la colección se puede dividir en tres conceptos clave: tecnología restauradora de la vista/audición, tecnología de asistencia visual/auditiva y tecnología de mejora de la visión/audición.

Figura 2. Mapas conceptuales de desglose de tecnología de asistencia / mejora / restauración para dispositivos y tecnologías de asistencia para personas con discapacidad visual y auditiva.



Fuente: WIPO, Guidelines for Preparing Patent Landscape Reports, 2015.

²¹ Trippe, A. with contributions from WIPO Secretariat. Guidelines prepared for the World Intellectual Property Organization (WIPO). Geneva. 2015. 53 p.

Si bien, algunas tecnologías de comunicación alternativas identifican específicamente su utilidad para las personas con discapacidad auditiva y / o del habla, una serie de tecnologías convencionales se han adaptado para su uso generalizado por esta comunidad de personas con discapacidad.

Estos usos secundarios y adaptativos también dan cuenta de un creciente interés por proporcionar soluciones a la población sordociega. Como conclusión se tiene que, si bien el tema de la tecnología adaptativa mantiene plena vigencia, la solución efectiva para mantener un dispositivo portátil de comunicación aún no se puede masificar por la complejidad de las soluciones que se han desarrollado y su masificación aún está lejos de ser una realidad.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Abordar cuestiones relativas a la superación de las necesidades que generan las discapacidades pasa indiscutiblemente por el terreno legal, pues en la sociedad actual la protección de los derechos inherentes a las personas con algún grado de limitación tiene especial relevancia y son de especial interés para toda la sociedad; derechos a la vida, la familia, la educación, el trabajo y en general casi todos se pueden ver afectados por estas limitaciones, por lo que es un deber de toda la sociedad y en manos de la academia generar alternativas de solución que sustraigan a estos grupos poblacionales de la situación de indefensión a las que se ven avocadas.

Actualmente muchos componentes electrónicos se han masificado y resultan totalmente asequibles para cualquier persona. La propagación de códigos de programación abiertos y entornos de uso libre abren una gama de posibilidades para que los interesados en desarrollos puedan contar con una serie ilimitada de recursos para que según sus conocimientos puedan ser aprovechados en función de nuevos proyectos con los más variados y loables fines.

Investigar y desarrollar un prototipo de intercomunicación para las personas sordociegas se suscribe en los deberes que como sociedad tienen quienes han adoptado un papel activo en la superación de las desigualdades entre las personas. La finalidad de brindar una alternativa posible para que estas personas logren una integración real a la sociedad es la mejor forma de prestar un servicio a la academia con el fin de lograr la construcción de una sociedad más igualitaria.

Dentro de las competencias a través de las cuales se busca establecer una mejor comunicación con personas que cuentan con la discapacidad de sordoceguera son las siguientes: la primera tiene que ver con la experiencia con la que cuenta un hablante para comunicarse a través de un lenguaje de códigos, lo que le permite

darse a entender y expresar lo que desea transmitir en la conversación; la segunda es la facilidad que tiene el individuo de interactuar con su interlocutor; la tercera es la posibilidad que tiene la persona con discapacidad para interactuar con otras personas a través de intercambios conversacionales; y la cuarta, existe un argumento que alinea las ideas antes descritas y establece la posibilidad de comunicación de las personas con discapacidad en diferentes entornos sociales.

La investigación tecnológica tendrá de este modo una función social suprema que no es más que la superación de barreras y la eliminación de las brechas que por años han segregado a este tipo de población, confinándolas a una vida llena de barreras que pueden derivar en todo tipo de consecuencias negativas como el aislamiento, problemas para desarrollar con facilidad sus habilidades académicas y sus habilidades sociales; también pueden presentarse problemas de comportamiento e incluso pensamientos depresivos.

2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La dualidad de la condición de sordoceguera es ante todo un reto comunicacional, la carencia total o parcial de estos sentidos (visión y oído) conlleva a la utilización y aprovechamiento máximo de los demás sentidos no afectados, principalmente se ha decantado por potencializar el sentido del tacto para que por vía de este se logre un entrenamiento tal que permita un sistema lingüístico suficiente para que el individuo logre una comunicación efectiva con el entorno.

Según las cifras del Registro para la Localización y Caracterización de Personas con Discapacidad – RLCPD del Ministerio de Salud, en Colombia existen personas con alteraciones permanentes en ojos, oídos y dificultades diarias para ver y oír estimado en 56.320 individuos que presentan sintomatologías con algunas de estas características²².

Las personas que tienen esta discapacidad no cuentan con una viabilidad clara de comunicación con el entorno social, lo cual no permite su interacción y no se cuenta con los medios suficientes para hacerlo. Muchas personas que nacieron sordociegas no alcanzan un nivel para lograr comunicarse y a su vez recibir información, actividades propias necesarias para obtener una interacción social.

En distintos casos, algunas personas discapacitadas cuentan con un código para acceder a la información y con sistema de comunicación formal, lo cual no es suficiente, ya que es importante que cuenten con herramientas tiflotécnicas, en la medida que esto permite hacer uso de estas tecnologías y de esta manera lograr tener una comunicación mucho más clara y entendible para el receptor.

Existen algunos métodos que son usados por los sordociegos, uno de estos es el tacto, pero no existe un sistema estándar a través de cual puedan aprender a comunicarse. Sin embargo, existen mecanismos en la actualidad que permiten la interacción de los sordociegos, en el sentido de lograr comunicarse con su entorno, pero los costos son muy altos, impidiendo llegar al uso de estos.

El acceso a la comunicación es un factor preponderante en el éxito de procesos de aprendizaje a todo nivel. Los problemas de conducta y cognitivos que se derivan de esta condición frecuentemente están asociados a la carencia de habilidades comunicativas, las cuales se pueden dar por sistemas de comunicación propios, estándar o últimamente por la inclusión de tecnología.

²² COLOMBIA. MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL. INSTITUTO NACIONAL PARA SORDOS. INSOR. Caracterización de las personas sordociegas en Colombia. Bogotá. [En línea]. Recuperado en 2020-5-4. Disponible en: http://www.insor.gov.co/observatorio/download/Sordoceguera_jun_2016.pdf

De esta forma, se tiene una serie de dispositivos que combinan uno o más métodos para permitir una comunicación más estructurada, con la limitación del acceso a dicha tecnología que se pueda tener, principalmente por el tema de costos y disponibilidad comercial.

Integrando las anteriores ideas tenemos que, ante las necesidades latentes y persistentes del grupo poblacional de los sordociegos, es perentorio que se avance en la construcción de dispositivos que mitiguen dichas necesidades. Es la tecnología la herramienta idónea para que mediante sistemas sencillos se desarrollen herramientas que fortalezcan la comunicación en ambos sentidos con este grupo poblacional.

La sordoceguera representa entre el 0.2% y el 2% de la población mundial, y el desconocimiento de esta, lleva a no darle la relevancia que tiene, lo que contribuye a que las barreras sean aún mayores.

Es difícil “contar” el número de personas Sordociegas, puesto que la definición de sordoceguera no es común en todos los países que se han analizado, pero el resultado extraído está entre 0.01% y 0.85% de la población, siendo la media de 0.21%, adicional a esto las personas con esta condición tienden a ser más pobres lo que dificulta el acceso a las tecnologías existentes²³.

De esta forma, en esta investigación se abordó el diseño de un intercomunicador para sordociegos basado en tecnología de fácil adopción con costos no tan altos y sobre todo que mitigue todas las barreras que se dan en la comunicación.

La pregunta de investigación abordada fue ¿qué dispositivo electrónico se puede desarrollar en Colombia para permitir la comunicación de una persona sordociega con su entorno?

²³ Asociación de Sordociegos de España. Nadie se queda atrás: informe global sobre personas con sordoceguera. Madrid. [En línea]. Recuperado en 2020-5-2. Disponible en: <http://www.asocide.org/principal/nadie-se-queda-atras-informe-global-sobre-personas-con-sordoceguera/>

3. MARCO DE REFERENCIA

3.1 MARCO TEÓRICO

3.1.1 Sistemas de comunicación para personas sordociegas.

Es importante señalar lo que establece Cuadrado, J. T. respecto a la definición de un sistema de comunicación alternativo, así: “Conjunto estructurado de códigos no vocales, necesitados o no de soporte físico, los cuales, mediante procedimientos específicos de instrucción, sirven para llevar a cabo actos de comunicación (funcional, espontánea y generalizable) por sí solos, o en conjunción con códigos vocales, o como apoyo parcial a los mismos”²⁴.

Los sistemas de comunicación deben ser seleccionados por la capacidad sensorial de cada persona, con el fin de cubrir sus necesidades de comunicación en cada instante.

Así mismo, Myriam García Dorado, aduce respecto del análisis multidisciplinar de la sordoceguera lo siguiente: “(...) cuando una persona nace o se queda sordociega, lo más urgente es intervenir para dotarla de un nuevo sistema de comunicación funcional o adaptar el que venía utilizando.

Este sistema deberá ser seleccionado de acuerdo con las características sensoriales y a las capacidades individuales de cada persona, con el fin de que le permita conectar con el mundo y cubrir sus necesidades en cada momento; es decir, el sistema será determinado de manera «individualizada».

Así pues, el profesional que trabaje con personas sordociegas se va a encontrar una gran gama de formas y sistemas de comunicación, acorde con la variedad de situaciones individuales que presenta este colectivo (...)”²⁵.

Además, dentro de su análisis García Dorado, M. presenta la siguiente tabla:

²⁴ TAMARIT CUADRADO, Javier. Uso y abuso de los sistemas de comunicación. En Comunicación, lenguaje y educación. Madrid: CL & E. 1989. 81 p.

²⁵ GARCÍA DORADO, Myriam. «Sistemas de comunicación de personas sordociegas.» La sordoceguera. Un análisis multidisciplinar, de Daniel et al. Álvarez Reyes, Organización Nacional de Ciegos Españoles (ONCE). Madrid. 2004. 193 p.

Tabla 1. Clasificación de los sistemas de comunicación.

Sistemas Alfabéticos	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema dactilológico: <ul style="list-style-type: none"> - Visual o en el aire - Visual-táctil - Táctil o en palma • Escritura en letras mayúsculas • El dedo como lápiz • Alfabeto lorm • Braille manual • Malossi • Morse
Sistemas no Alfabéticos o Signados	<ul style="list-style-type: none"> • Lenguaje de signos naturales • Lengua de signos: <ul style="list-style-type: none"> - Lengua de signos en campo visual - Lengua de signos a corta distancia - Lengua de signos apoyada en la muñeca - Lengua de signos táctil o apoyada
Sistemas Basados en la Lengua Oral	<ul style="list-style-type: none"> • Lengua oral adaptada • Lectura labial • Tadoma
Sistemas Basados en Códigos de Escritura	<ul style="list-style-type: none"> • Escritura en caracteres ordinarios: <ul style="list-style-type: none"> - En papel - A través de medios técnicos • Escritura en braille: <ul style="list-style-type: none"> - En papel - A través de medios técnicos
Recursos de Apoyo a la Comunicación	<ul style="list-style-type: none"> • Tablillas de comunicación • Tarjetas de comunicación • Mensajes breves en caracteres ordinarios • Mensajes breves en braille • Dibujos
Otros	<ul style="list-style-type: none"> • Dactyls • Bimodal

Fuente: García Dorado, M. Sistemas de comunicación de personas sordociegas. Madrid. ONCE, 2004, 145 p.

Ahora bien, a continuación, se relacionarán lo que es considerado como los principales sistemas de comunicación alfabéticos que utilizan las personas sordociegas y adicionalmente los medios por los cuales se adaptaron estas.

3.1.1.1 Sistema dactilológico o alfabeto manual

Este alfabeto es un sistema utilizado por personas con discapacidad de sordoceguera con el fin de comunicarse e interactuar en un medio. Tiene varias adaptaciones dependiendo de la capacidad sensorial de la persona y la habilidad para interpretar las letras.

El sistema dactilológico consiste en la posición de la mano y dedos codificando al alfabeto dactilológico; donde cada letra tiene una representación distinta a las demás. El alfabeto manual fue creado para las personas sordas y adaptado por diferentes variantes para personas con problemas de visión y audición. Las personas sordociegas los utilizan dependiendo de su capacidad sensorial²⁶.

En la figura 3 se observa el Alfabeto dactilológico táctil español, donde se encuentran todas las letras con la posición de manos y dedos que realiza el interlocutor sobre la palma de la mano de la persona sordociega. Existen 3 tipos de adaptaciones dependiendo de la capacidad multisensorial que tenga la persona sordociega.

Figura 3. Alfabeto dactilológico táctil español.



Fuente: Organización Nacional de Ciegos Españoles (ONCE), 2004. La sordoceguera un análisis multidisciplinar, [en línea] <http://psicolog.org/la-sordoceguera-un-analisis-multidisciplinar.html?page=9> [recuperado en 2019-10-21].

²⁶ GARCÍA DORADO, Myriam. «Sistemas de comunicación de personas sordociegas.» La sordoceguera. Un análisis multidisciplinar, de Daniel et al. Álvarez Reyes, Organización Nacional de Ciegos Españoles (ONCE). Madrid. 2004. 147 p.

3.1.1.2 Sistema dactilológico visual o en el aire

El sistema dactilológico visual se realiza en el aire y es captado por medio de la visión, debido a que cada individuo es diferente se debe realizar adaptaciones que permitan a la persona sordociega captar las letras del abecedario dactilológico. Por ejemplo, variar la distancia permite que el campo de visualización ayude a la persona sordociega a visualizar el alfabeto dactilológico de una mejor manera. Esta modalidad del sistema suele ser utilizada por sordos congénitos.

3.1.1.3 Sistema dactilológico visual-táctil

En esta modalidad del sistema dactilológico las letras se realizan igualmente en el aire por medio del interlocutor. La persona sordociega por medio del tacto debe reconocer las letras que son generadas por medio de la combinación de los dedos y la mano. Las combinaciones deben realizarse despacio, permitiendo que la persona sordociega pueda entender las letras, además el receptor puede realizar un gesto para que el interlocutor continúe a la siguiente letra. Este sistema es generalmente utilizado por sordos congénitos debido a que la visión se deteriora con el tiempo.

3.1.1.4 Sistema dactilológico táctil o en palma

En esta adaptación las combinaciones de las manos y dedos que generan las letras del mensaje se realizan en la mitad de la palma de la mano de la persona sordociega, para que esta pueda entender táctilmente. La persona sordociega condiciona su capacidad sensorial táctil para la recepción de las letras del alfabeto dactilológico táctil. Esta versión la suelen utilizar personas sordociegas tardías ya que antes de su pérdida desarrollaron el lenguaje y personas de alto rendimiento que sufren sordoceguera congénita.

3.1.1.5 Dedo como lápiz

Este sistema se utiliza cuando la persona pierde los sentidos sensoriales de la visión y la audición súbitamente en algún accidente o por enfermedad. El interlocutor toma el dedo índice de la persona sordociega y escribe el mensaje en mayúsculas o minúsculas simulando que el dedo es un lápiz.

El medio de transmisión del mensaje puede ser el aire, sobre la palma de la mano, o alguna superficie ²⁷.

3.1.1.6 Morse

El código morse es un sistema de comunicación basado en la transmisión y recepción de mensajes empleando sonidos o rayos de luz. El código morse consiste en la representación de las letras del abecedario mediante puntos y rayas generando un código sistemático que se transmite por medio de señales intermitentes.

Para separar palabras el tiempo aproximado es el de la raya, para separar las letras se utiliza un espacio de tres puntos. En la figura 4 se encuentran las letras y su codificación al clave morse.

El emisor da un toque con su dedo índice sobre la mano del receptor y con esto representar el punto del sistema morse. Una raya del morse se transforma en un golpe que efectúa el emisor con la punta de su dedo sobre la palma de la persona sordociega.

Figura 4. Alfabeto Morse.

Clave Morse					
A	•-	M	--	Y	--•--
B	-•••	N	-•	Z	--••
C	-•-•	O	---	1	•-----
D	-••	P	•--•	2	•••-
E	•	Q	--•-	3	••••-
F	••-•	R	•-•	4	••••
G	--•	S	•••	5	•••••
H	••••	T	-	6	-••••
I	••	U	••-	7	--•••
J	•---	V	•••-	8	---••
K	-•-	W	•--	9	----•
L	•-••	X	-••-	0	-----

Fuente: ICESI. Morse [en línea] https://www.icesi.edu.co/blogs_estudiantes/jdcol/files/2008/08/telegrafo3.jpg [recuperado en 2019-10-21].

²⁷ CERRADA MIQUELA, Susana. Sistemas de comunicación para personas sordociegas. En: Temas para la educación. 2010. [En línea]. Recuperado en 2019-9-15. Disponible en: <https://www.feandalucia.ccoo.es/docuipdf.aspx?d=7253&s=>

3.1.1.7 Escritura en letras mayúsculas

Actualmente en la literatura disponible se proponen los siguientes parámetros del sistema de escritura en letras mayúsculas:

- El interlocutor escribe en letras mayúsculas con el dedo índice sobre el centro de la palma de la persona sordociega.
- La escritura se realiza mediante el menor número de trazos y realizando poca presión. (véase figura 5).
- Se escribe una letra sobre otra de izquierda a derecha.
- Se utiliza letras mayúsculas neutras y lo más estándares posibles, evitando estilos propios.

Este sistema funciona cuando la persona sordociega conoce el lenguaje oral. En la mayoría de los casos es de gran ayuda en los primeros momentos de la persona que adquiera la sordoceguera porque lo relaciona directamente con sus conocimientos para dar paso a la comunicación.

Figura 5. Trazos en el sistema de escritura en letras mayúsculas.



Fuente: Organización nacional de ciegos españoles. Op. cit., p. 10.

3.1.1.8 Malossi

De acuerdo con Galeano, el Sistema de comunicación Malossi es utilizado en Italia. Este sistema alfabético asigna a cada una de las letras del alfabeto correspondientes con un punto de los dedos de la mano. En la figura 6 se puede visualizar letras verdes grandes en la mano que se encuentran situadas de la A hasta la O, las letras rojas pequeñas van desde la letra P hasta la Z. La persona sordociega con su mano en posición vertical señala con la punta de sus dedos hacia arriba y el emisor debe presionar cuando ve las letras verdes grandes y apretar cuando son las letras rojas pequeñas²⁸.

Figura 6. Esquema del alfabeto de Malossi.



Fuente: En La Sordoceguera. Un análisis multidisciplinar, (ONCE), 2004. [recuperado en 2020-5-6].

3.1.1.9 Alfabeto Lorm

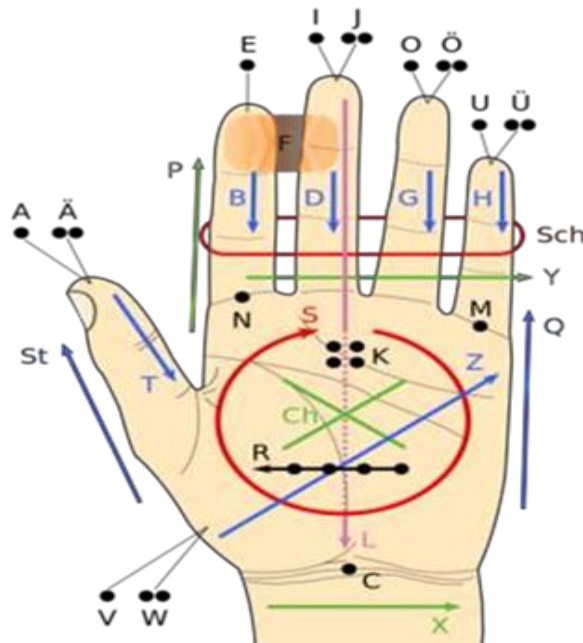
El Alfabeto Lorm es utilizado en países como Alemania, Republica Checa, Bélgica, etc. Las letras del alfabeto corresponden a puntos específicos en la palma o dorso de la mano de la persona sordociega, algunas letras van acompañadas de movimientos de la mano. En el Esquema del Alfabeto Lorm presente en la figura 7 se observa los puntos y flechas para la codificación de las letras, el interlocutor por medio de los puntos establecidos en la mano de la persona sordociega realiza presión deletreando el mensaje al Alfabeto Lorm.

²⁸GALEANO, Eduardo. 2010. [En línea]. Recuperado en 2019-9-8. Disponible en: <https://crkitty.files.wordpress.com/2010/11/sac2.doc>

Es importante señalar que García Dorado, Myriam expone las pautas que debe seguir el interlocutor para que la persona pueda comunicarse mediante el Alfabeto Lorm, de la siguiente forma:

- I. Un punto: El interlocutor debe tocar con la punta de su dedo el punto que se indica en el Esquema del alfabeto Lorm.
- II. Dos o más puntos: El emisor toca el área indicada en el dibujo con el número de dedos indicados por la asignación de número de puntos.
- III. Una flecha: El interlocutor debe desplazar la punta del dedo a lo largo del lugar indicado por la flecha, respetando su dirección, cuando la flecha está dibujada cerca de la mano y no sobre esta, el dedo debe recorrer el costado de la mano, siguiendo el movimiento de la flecha.
- IV. Dos flechas cortas que apuntan una hacia la otra: Las puntas de los dedos que se indican deben apretarse una contra la otra, como un pellizco.
- V. Tres flechas paralelas: El emisor debe deslizar la palma completa a lo largo de la mano del receptor respetando la dirección señalada por las flechas.”²⁹.

Figura 7. Esquema del alfabeto Lorm.



Fuente: En La Sordoceguera. Op. cit., p. 158.

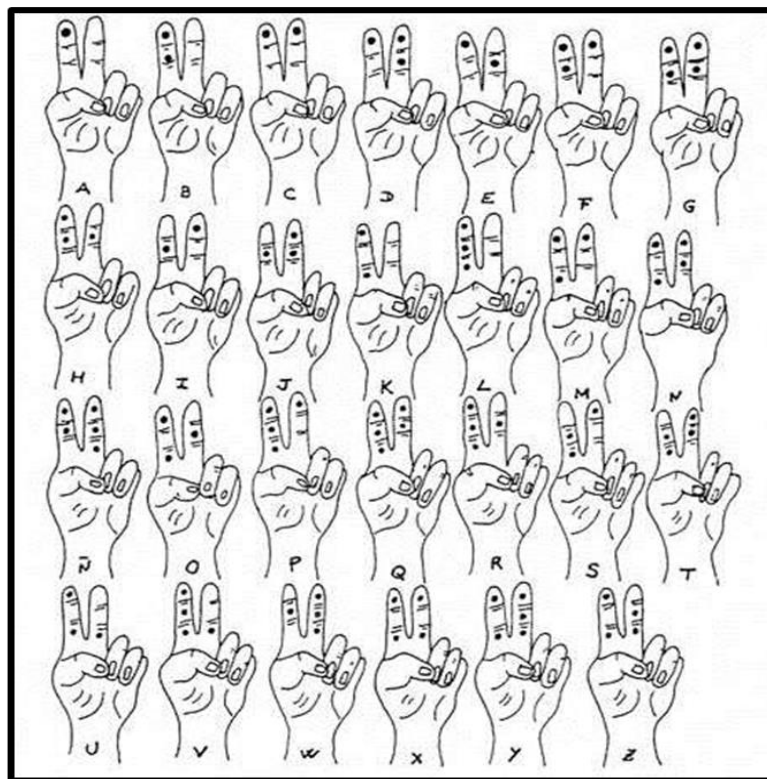
²⁹ GARCÍA DORADO, Myriam. «Sistemas de comunicación de personas sordociegas.» La sordoceguera. Un análisis multidisciplinar, de Daniel et al. Álvarez Reyes, Organización Nacional de Ciegos Españoles (ONCE). Madrid. 2004. 156 p.

3.1.1.10 Braille manual

El sistema braille es un sistema de lectura y escritura táctil pensado para personas no videntes, la codificación del alfabeto se encuentra en celdas de seis puntos organizados como una matriz de tres filas por dos columnas, que se enumeran de arriba a abajo y de izquierda a derecha. El sistema braille no se restringe solo a la lectura y escritura ya que puede convertirse en un sistema de comunicación alternativo entre dos personas (braille manual) por medio de tecnología, de esta manera la persona puede emprender una comunicación cara a cara y a distancia.

El braille manual, es una modificación del sistema de escritura y lectura donde la persona aprovecha el conocimiento para transmitir e interpretar mensajes. El emisor codifica mediante el alfabeto braille la letra que desea comunicar, utilizando las correspondencias de cada letra del alfabeto. En la figura 8 se observa el alfabeto braille con su correspondiente letra de abecedario.

Figura 8. Alfabeto braille manual.



Fuente: DISCAPNET. [en línea] <https://www.discapnet.es/areas-tematicas/tecnologia-inclusiva/productos-de-apoyo/guias-tecnicas/el-alfabeto-braille> [recuperado en 2019-10-12].

De acuerdo con Dorado el sistema de braille manual tiene adaptaciones, dependiendo de la preferencia o la facilidad de la persona sordociega para recibir el mensaje.

3.2 MARCO CONCEPTUAL

3.2.1 Tiflotecnología

Señalan los autores Collado, Sonia, y Juan Antonio Gimenez que esta técnica de entenderse como: “(...) el conjunto de técnicas, conocimientos y recursos encaminados a procurar a los ciegos y deficientes visuales los medios oportunos para la correcta utilización de la tecnología con el fin de favorecer su autonomía personal y plena integración social, laboral y educativa, en este sentido como material Tiflotécnico se entiende todo material específico para ciegos y deficientes visuales, desde los materiales más sencillos y de fácil manejo (bajo nivel de especialización), hasta los materiales que por su especial complejidad requieren de un entrenamiento previo para su correcto manejo (alto nivel de especialización)”³⁰.

3.2.2 Sistema alternativo de comunicación (SAC)

Con respecto a este sistema de comunicación lo describe Tamarit, Javier en su texto así: “(...) Los sistemas alternativos de comunicación son instrumentos de intervención logopédica/educativa destinados a personas con alteraciones diversas de la comunicación y/o lenguaje y cuyo objetivo es la enseñanza, mediante procedimientos específicos de instrucción, de un conjunto estructurado de códigos no vocales, necesitados o no de soporte físico, los cuales, mediante esos mismos u otros procedimientos específicos de instrucción, permiten funciones de representación y sirven para llevar a cabo actos de comunicación, por sí solos, o en conjunción con códigos vocales, o como apoyo parcial a los mismos, o en conjunción con otros códigos no vocales (...)”³¹.

Adicionalmente los autores Lloyd y Karlan clasifican los diferentes Sistemas de Comunicación en sistemas sin ayuda y con ayuda, de la siguiente forma:

- Los sistemas sin ayuda: Son los que no requieren de ningún aparato, material ni ningún otro tipo de ayuda. Tampoco requiere de algún elemento físico, externo al emisor de dicho código, para realizarlo. El ejemplo más prototípico sería el lenguaje de signos.
- Los sistemas de comunicación con ayuda: Son aquellos en los que los códigos que

³⁰ COLLADO, Sonia, GIMENEZ, Juan Antonio. Madrid: ONCE, 2017. Tiflotecnología.[En línea]. Recuperado en 2019-9-22. Disponible en: <https://web.ua.es/es/cae/documentos/noticias/2017/tiflotecnologia-para-deficit-visual-once-juan-antonio-gimenez-sonia-collado.pdf>

³¹ TAMARIT CUADRADO, Javier. «Sistemas alternativos de Comunicación en autismo: algo mas que una alternativa.» Alternativas para la comunicación, 1988. 3 p.

utilizan requieren un apoyo físico, un material, una ayuda externa, físicamente independiente del emisor que realiza una actividad comunicativa mediante un sistema de este tipo. Un ejemplo es el caso de la escritura como el Braille³².

3.2.3 Dispositivo de asistencia o tecnología de asistencia

Los dispositivos de asistencia o tecnología de asistencia pueden referirse a cualquier dispositivo que ayude a una persona con pérdida auditiva o un trastorno de voz, habla o lenguaje a comunicarse. Estos términos a menudo se refieren a dispositivos que ayudan a una persona a escuchar y comprender lo que se dice con mayor claridad o a expresar sus pensamientos con mayor facilidad.

Con el desarrollo de tecnologías digitales e inalámbricas, cada vez hay más dispositivos disponibles para ayudar a las personas con trastornos de audición, voz, habla y lenguaje a comunicarse de manera más significativa y participar más plenamente en su vida diaria³³.

3.2.4 Partes y componentes del dispositivo braille

Haciendo referencia a lo descrito por el autor Quiroz quien denomina a "(...) dispositivos braille (electrónico) a cualquier aparato electrónico que sirva para la interpretación o generación de lenguaje braille, tanto de forma física (hardware) como virtual (software)"³⁴.

Los dispositivos braille son periféricos externos con conexión a un computador o dispositivos móviles como celulares, tabletas, etc. También pueden ir embebidos en otros dispositivos. Por ejemplo, una línea braille puede incorporar un teclado para la recepción y envío de mensajes.

³² LLOYD, KARLAN,. Sistema alternativo de comunicación. [En línea]. Recuperado en 2020-5-5. Disponible en: <https://www.efdeportes.com/efd157/sistema-alternativo-de-comunicacion.htm>

³³ NATIONAL INSTITUTE ON DEAFNESS AND OTHER COMMUNICATION DISORDERS. What is an assistive device? s.f. [En línea]. Recuperado en 2019-10-10. Disponible en: www.nidcd.nih.gov/health/hearing/Pages/Assistive-Devices.aspx

³⁴ Quiroz M, German, ROSAS Z, Diego. Pantalla táctil para personas con discapacidad. [En línea]. Recuperado en 2019-9-29. Disponible en: http://es.slideshare.net/qger/capitulo-3-3687363?from_action=save

3.2.5 Partes del dispositivo focus blue 14

El focus blue 14 posee un teclado de 8 puntos y la línea braille está constituida por 14 celdas. El tiempo de funcionamiento es de 8 horas. La conectividad se realiza mediante USB y Bluetooth. Es compatible con dispositivos con plataforma iOS y Android. Las dimensiones son 16 cm de largo x 8.2 cm de ancho x 1.9 cm de alto con un peso de 328 gramos. En la figura 9 se observa la forma del dispositivo.

Figura 9. Dispositivo Focus Blue 14.



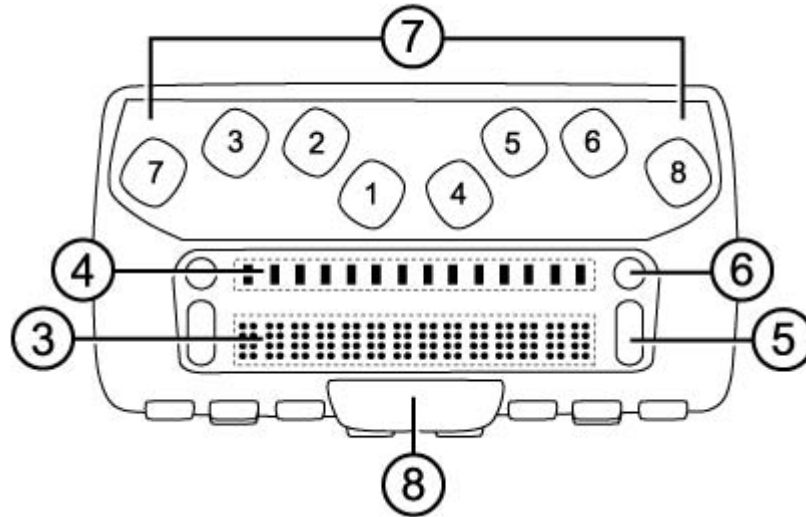
Fuente: BRAILLER INC. [línea]. <https://brailler.cr/ceguera/80--linea-braille-focus-14-blue-5th-generation.html> Recuperado en [2020-4-6].

En la figura 10 se muestran las partes de la vista superior en las cuales se puede observar componentes como las celdas braille (3) que están situadas hacia la parte frontal del dispositivo. Los botones del router cursor (4) se encuentran ubicados encima de cada celda braille. El router cursor tiene la función de mover el cursor donde se lo presiona y sirve para redactar documentos. En cada extremo de la pantalla de celdas braille se encuentran botones NAV Rocker (5) que se utilizan para una navegación fácil. El botón (6) de modos NAV Rocker que tiene la función de desplazarse por los diferentes modos de navegación.

El teclado braille (7) estilo Perkins situado directamente sobre los botones. Debajo de la pantalla braille se encuentra una barra espaciadora (8), esta tecla se utiliza para generar comandos más una combinación de teclas braille.

Adicionalmente tiene unos botones localizados en los costados los cuales sirven para desplazarse a la derecha e izquierda, un botón de encendido y un puerto micro USB.

Figura 10. Vista Superior Focus Blue 14.



Fuente: FREEDOM SCIENTIFIC. [en línea].
<https://support.freedomscientific.com/Content/Documents/Manuals/Focus/Focus14Blue/Focus-14-Blue-Online-Users-Guide.htm> Recuperado en [2020-4-6].

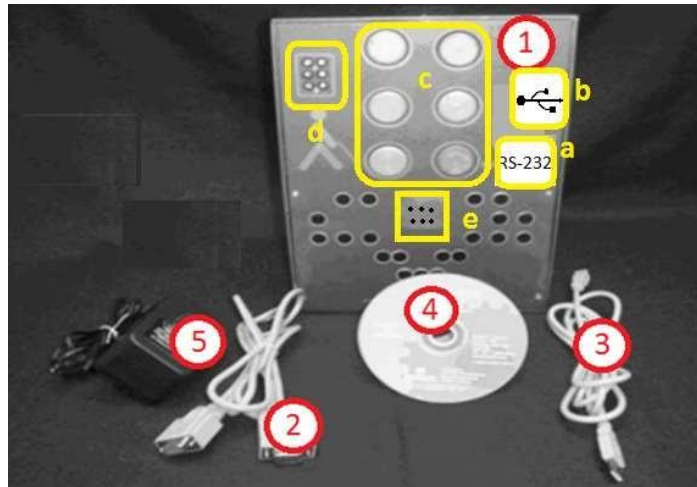
3.2.6 Partes y componentes del dispositivo e_braille

En la Universidad Politécnica Salesiana sede en Cuenca se realizó el sistema electrónico braille (e_braille) para la ayuda en el aprendizaje de personas no videntes presentado por Loza. El Braille Electrónico se realizó con la ayuda de personas no videntes para permitir un control fácil. El sistema permite leer y escribir en el código braille.

En la figura 11 se observa las partes y componentes del sistema Braille electrónico³⁵.

³⁵ LOZA P. Oscar P. Sistema electrónico braille para la ayuda en el aprendizaje de personas no videntes. Universitas, Revista de ciencias sociales y humanas. 2006, núm. 7. pp. 209 - 225. ISSN 1390-3837

Figura 11. Partes y Componentes de Braille Electrónico.



Fuente: UNIVERSITAS, REVISTA DE CIENCIAS SOCIALES Y HUMANAS. [en línea]. <https://www.redalyc.org/pdf/4761/476150826008.pdf> Recuperado en [2020-5-6].

El hardware del sistema del Braille Electrónico tiene dos terminales de conexión con la PC, el usuario puede elegir la comunicación dependiendo del terminal que tenga la computadora y configurar la conexión para que el dispositivo funcione. El sistema mecánico del signo generador grande (c) está diseñado a una escala de 20:1 del signo generador normal. El mecanismo de accionamiento es por medio de solenoides, mientras que el mecanismo del signo generador pequeño (d) se acciona con el grande.

El parlante (e) por medio de un sintetizador de voz permite que las letras escritas por medio del dispositivo puedan ser audibles para el no vidente permitiéndole un reconocimiento óptimo de la escritura.

Los componentes del sistema Braille electrónico son:

- Dispositivo Braille Electrónico. (1)
- Cable de interfaz RS-232 para conectar a una PC estándar al puerto serial. (2)
- Cable de interfaz USB para conectar una PC estándar por medio de un puerto USB. (3)
- Software del Braille Electrónico. (4)
- Fuente de alimentación de 12 VCD. (5)

3.2.7 Partes y componentes del Guante móvil Lorm

En Alemania los investigadores de Berlín Ulrike, Tom, & Gesche, introducen un dispositivo de comunicación para personas sordociegas basado en el Alfabeto Lorm. El Guante móvil Lorm permite o establece dos alternativas que permiten la comunicación de personas sordociegas.

La primera se refiere a la comunicación móvil a través de la distancia, por ejemplo, mensaje de texto, chat o correo electrónico, y la segunda permite la comunicación paralela de uno o varios dispositivos, lo cual esto lo hace muy bueno en el sentido de lograr una mayor interacción en un entorno social.

El Guante móvil Lorm funciona como un traductor simultáneo y hace que la comunicación con los demás sea posible, sin necesidad de conocer el Alfabeto Lorm. Como resultado de esto la persona sordociega puede ampliar su comunicación con el mundo³⁶.

Figura 12. Guante móvil Lorm.



Fuente: HIPERTEXTUAL. [en línea]. <https://hipertextual.com/2012/04/universidad-arte-berlin-guante-sordo-ciegos-smartphone> Recuperado en: 2020-5-6

Sensores de presión textiles ubicados en la palma del guante como se muestra en la figura 12, permiten al emisor escribir mensajes. En el módulo de control existe la interfaz Bluetooth que transmite los datos desde el guante hacia el dispositivo móvil; A continuación, se reenvía automáticamente al dispositivo de mano del receptor en forma de un SMS. En el modo recepción de mensaje de texto, el mensaje será

³⁶ Ulrike, G., Tom, B., & Gesche, J. Design Research Lab. [En línea]. Recuperado en 2019-10-22. Disponible en: <https://www.drlab.org/research-projects/example-for-copy-3/>

enviado a través de Bluetooth del dispositivo móvil. Para la recepción los motores de vibración pequeños situados en la parte posterior del guante en los puntos que conforma el Alfabeto Lorm, permiten patrones de retroalimentación táctiles para que el usuario pueda interpretar el mensaje.

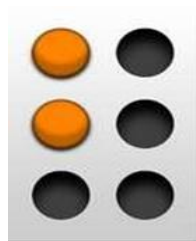
3.2.8 Dispositivos virtuales

Otro avance de campo que merece ser mencionado son los dispositivos virtuales que como medio físico utilizan el dispositivo móvil. Se considera que el software es la parte lógica e intangible de un ordenador. En otras palabras, el concepto de software abarca a todas las aplicaciones informáticas que se encuentran en un ordenador; con respecto a dispositivos virtuales se describe aplicaciones de accesibilidad, comunicación, aprendizaje basados en el sistema operativo Android.

3.2.8.1 BrailleBack

BrailleBack es una aplicación gratuita de Accesibilidad permite a los usuarios no videntes hacer uso de dispositivos braille. El ícono de la aplicación es una celda braille como se muestra en la figura 13. Esta aplicación permite conectar una línea braille con dispositivos móviles con plataforma Android o iOS por medio de Bluetooth. El contenido de la pantalla se procesa y transfiere al dispositivo braille para que pueda leer los mensajes, dependiendo del dispositivo puede navegar e interactuar mediante las teclas en la pantalla. También es posible introducir texto usando el teclado braille. La aplicación se descarga directo al dispositivo Android de Play Store³⁷.

Figura 13. Icono aplicación BrailleBack.



Fuente GOOGLE INC. Google Play. [en línea].
https://play.google.com/store/apps/details?id=com.googlecode.eyesfree.brailleback&hl=es_419
Recuperado en: 2020-5-6

³⁷ GOOGLE INC. Google Play. [En línea]. Recuperado en 2019-9-8. Disponible en:
https://play.google.com/store/apps/details?id=com.googlecode.eyesfree.brailleback&hl=es_419

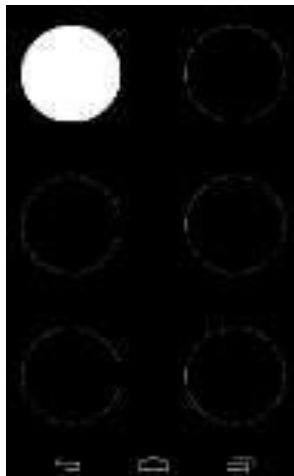
Dispositivos braille que pueden ser soportados en esta versión:

- APH Refreshbraille.
- Baum VarioConnect.
- Esys EuroBraille.
- Freedom Scientific Focus Blue (14 y 40 celdas).
- HandyTech (Basic Braille, Active Braille, Braille Star, Braille Wave, Braillino, Easy Braille).
- Harpo Braillepen 12.
- HIMS (BrailleSense, Braille EDGE).
- Humanware Brailiant (1ra generación y modelos BI).
- Optelec Alva (BC640, BC680).

3.2.8.2 The Android Braille Slate

La aplicación The Android Braille Slate es de aprendizaje para dispositivos Android que tiene como objetivo ayudar a los estudiantes con discapacidad visual a instruirse del alfabeto braille. La aplicación simula una celda braille por medio de la pantalla táctil, el usuario no vidente por medio del tacto siente la pantalla y mediante vibraciones que están dispuestas en la celda braille reconoce de manera intuitiva el alfabeto braille. En la figura 14 se puede observar la interfaz de la aplicación en el celular y la muestra de la letra “A” en lenguaje braille.

Figura 14. Letra “a” visualizada en la aplicación Braille Slate.



Fuente: BEHANCE. [en línea]. <https://www.behance.net/shrey4e17> Recuperado en 2019-9-18

3.2.8.3 Blind SMS Reader 3.0 PRO

La aplicación Blind SMS Reader 3.0 desarrollada por Pisani en 2015 es una aplicación de comunicación diseñada para personas sordociegas permite la lectura en código morse y código braille. En el modo Braille utiliza la pantalla y la vibración del dispositivo como medio de transmisión dando privacidad al usuario, también tiene un sistema de voz que lee los mensajes recibidos.

La pantalla codifica el mensaje en Braille de varias celdas, al pasar el dedo sobre los puntos de las celdas donde se encuentran los puntos codificados en Braille se activa la vibración larga del dispositivo, mientras que los espacios vacíos activan una vibración más corta. Los espacios entre las letras y las líneas se identifican por una vibración continua.

La aplicación permite que por medio de las teclas laterales para regular el volumen del celular permita cambiar de un mensaje a otro y si se tiene presionado por más tiempo permite cambiar de modo. En modo código Morse inicia tocando la pantalla y para detener presionar de nuevo donde el medio de transmisión es la vibración y se transmite mediante las señales intermitentes basándose en el código Morse³⁸.

3.2.8.4 Super Braille Keyboard

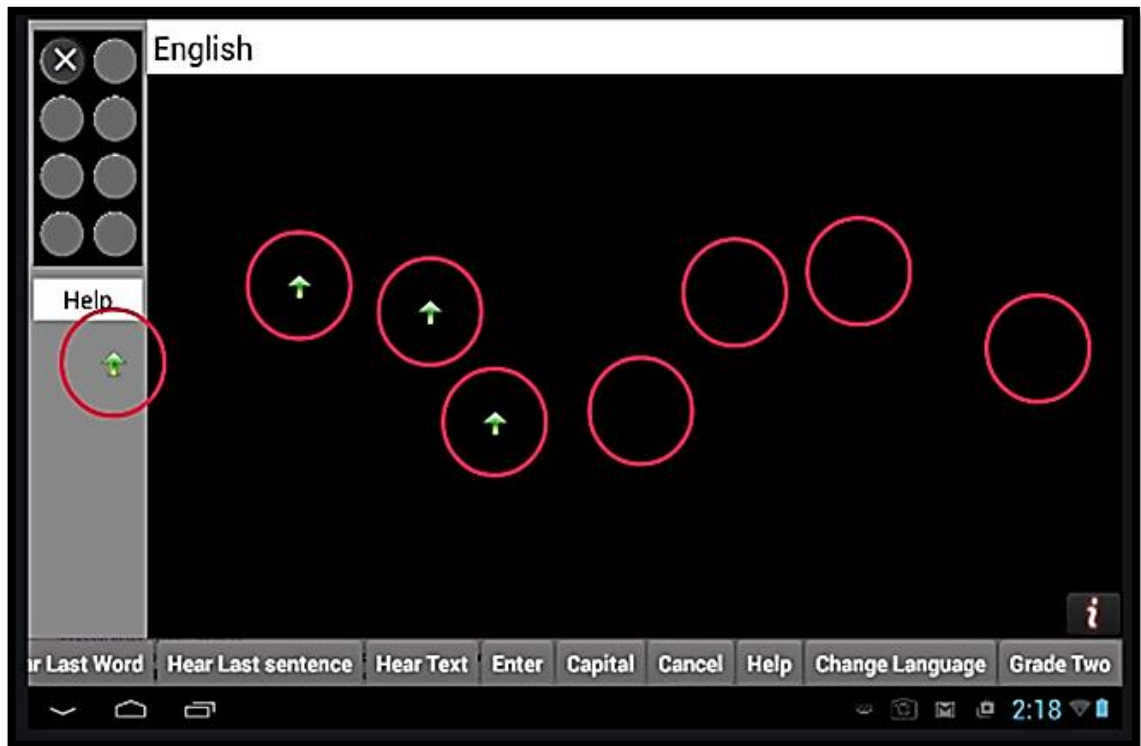
Después de tres años de investigación y desarrollo la empresa Inpris en el año 2015, crea aplicaciones como Super Braille Keyboard, en su fase beta la versión de prueba es de dos meses.

La aplicación consiste en el teclado Braille virtual en la pantalla táctil de un dispositivo Android que permite la escritura en código braille mediante los dedos de la persona con discapacidad visual y auditiva.

La posición de las teclas es como una maquina Perkins, pero se calibra en la pantalla continuamente, los círculos que disponen del código braille son las teclas como se muestra en la figura 15.

³⁸ APKPURE. [En línea]. Recuperado en 2019-9-8. Disponible en: <https://apkpure.com/es/blind-sms-reader-3-2-pro/michelepisani.sms.pro.blindsmsreader>

Figura 15. Interfaz de la aplicación Super Braille Keyboard.



Fuente: APKPURE. [en línea]. <https://apkpure.com/es/super-braille-keyboard/com.upsense.keyboard.twohands> Recuperado en 2019-9-18

Los desarrolladores crean esta aplicación para personas de baja disponibilidad económica; la cual permite un acceso a la tecnología y a las nuevas formas de comunicación.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un dispositivo de comunicación bidireccional entre personas sordociegas y personas sin esta limitación.

4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Recopilar la información sobre los mecanismos de comunicación de personas sordociegas.
- Identificar la instrumentación requerida para el prototipo tanto en el emisor como en el receptor y viceversa.
- Diseñar un prototipo con el cual se pueda lograr la comunicación entre una persona sordociega y una sin esta condición.
- Implementar el prototipo para su validación realizando las pruebas pertinentes donde se demuestre su correcto funcionamiento.

5. ALCANCES Y LIMITACIONES

- Se implementó un prototipo que permite comunicar a una persona sordociega con otra persona sin esta limitación, mediante escritura y lectura de caracteres en ambos lados del canal.
- La comunicación se realiza en el mismo espacio físico. No se contempla comunicación a distancia.
- Se incorporó una interfaz de lectura de un solo carácter.
- La validación del prototipo se limitó a la verificación de transmisión y decodificación correcta de caracteres entre ambos lados del canal, en los respectivos sistemas de lectura y escritura (braille y alfabeto latino).

6. METODOLOGÍA

6.1 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Para reunir la información se presentan los siguientes aspectos según el orden en cuanto a la concepción de ideas de la siguiente manera:

- En esta primera fase se realizó una consulta en las bases de datos, artículos, revistas tecnológicas y publicaciones en las cuales se logró identificar qué tecnologías se encuentran disponibles para este tipo de población y de qué manera está contribuyendo a mejorar su calidad de vida.
- Seguidamente se recopiló información acerca del lenguaje braille que en este caso es con el cual se va a trabajar en una dirección.
- Se revisaron otros sistemas que utilizan las personas con sordoceguera para comunicarse determinando cuál de ellos para el dispositivo que se pretende plantear es la opción más adecuada según la propuesta realizada en los objetivos.
- Se determinaron los componentes fundamentales para el desarrollo del dispositivo que realice la comunicación por medio de los procesos de lectura y escritura.

6.2 DISEÑO

Con las necesidades ya establecidos se procedió con el diseño del sistema, teniendo en cuenta las siguientes etapas; Inicialmente, se determinaron todos los módulos que debe contener el sistema y los componentes necesarios, seleccionados según los criterios técnicos y económicos.

- En esta etapa, también se realiza el diseño estructural en el cual se define la geometría, tamaño, materiales y distribución física de los componentes.
- A continuación, se realiza el diseño electrónico necesario con el cual se van a conectar todos los componentes del sistema. En esta parte se diseña además la placa de circuito impreso del prototipo.
- En esta fase del diseño se realiza un diagrama de flujo del sistema, que representa el funcionamiento del sistema y es la base para la posterior programación de la unidad de control.

6.3 IMPLEMENTACIÓN

- Inicialmente se imprime el diseño de la placa en una tarjeta de 9 cm x 7 cm ajustándose a las medidas de la caja. Para continuar con el proceso se procede a soldar los componentes a la placa y realizar las conexiones necesarias.
- Posteriormente, se realiza la adecuación del espacio de la caja que contendrá los componentes en cuanto a lo que refiere al tema de salidas y entradas de los cables de comunicación serial y carga. También la ubicación de los componentes pasivos, los de señalización para cambio de interlocutor, así como la definición del lugar para la placa de circuitos principal y el microprocesador.
- A continuación, se realiza la interconexión de todos los componentes de acuerdo con el diseño propuesto verificando que estén unidos de manera correcta para evitar un mal funcionamiento.
- Para finalizar en esta etapa se continúa con la programación de la unidad de control correspondiente para la lectura y escritura del dispositivo.

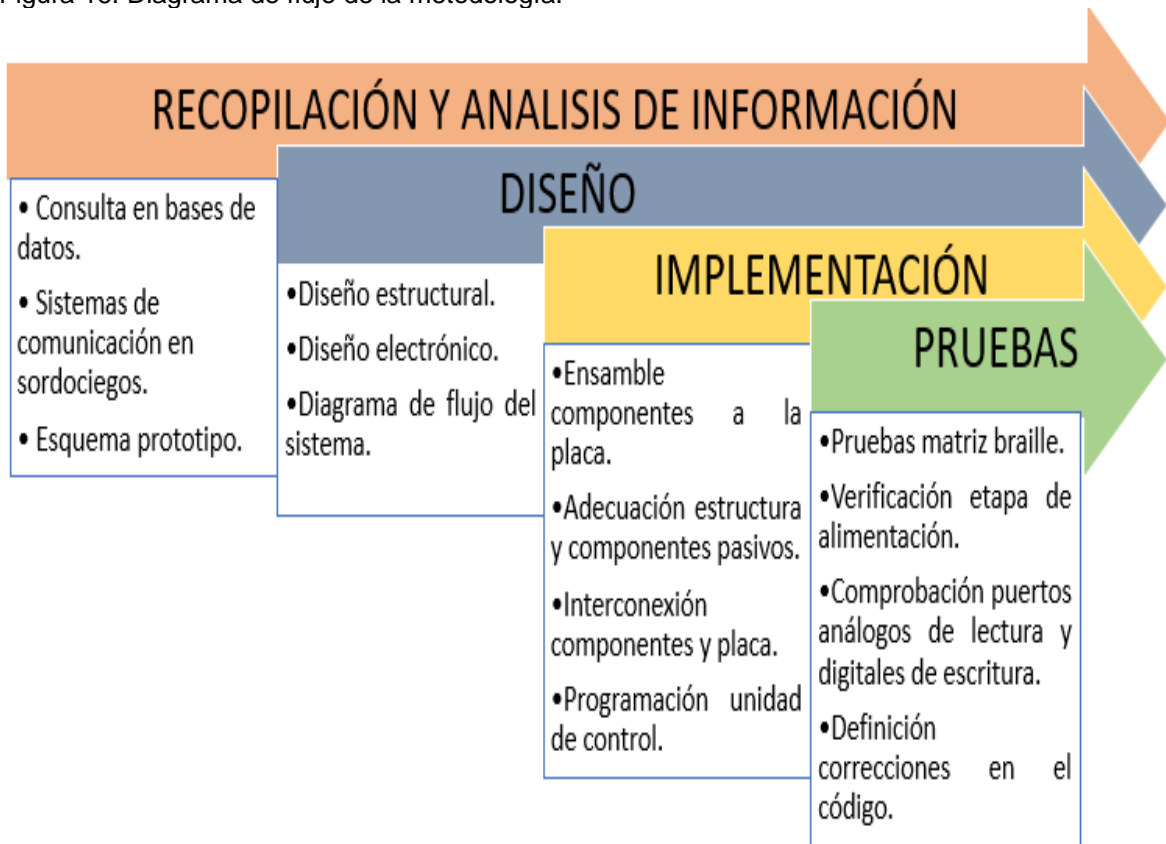
6.4 PRUEBAS

- En esta fase se realizó pruebas a los componentes que deben dar lugar a la lectura braille debido a que estos deben tener la suficiente fuerza para que cuando estén activos los pines sean fácilmente detectables en el dedo y correspondan a la interpretación de la letra enviada.
- Se verifica que el sistema de la placa no presente cortos cuando se conecta la fuente de alimentación y luego se prueba la continuidad de todos los cables y caminos que componen el dispositivo en las entradas y salidas.
- Luego se comprueba el funcionamiento de los puertos análogos y digitales del microcontrolador para empezar a realizar la prueba de la programación y el posterior funcionamiento de todo el sistema realizando las funciones de escritura en braille, cambio de interlocutor para lectura normal y respuesta de este para ser observado en la matriz braille.
- También se procede a revisar que las teclas estén originando la señales al ser activadas ya que la mayoría de las letras en braille requieren como mínimo dos combinaciones según el lenguaje y esto es clave para letras que tienen hasta 5 combinaciones para su concepción.

- Para finalizar se destinan diferentes escenarios con el fin de definir correcciones en el código debido a que los tiempos de respuesta son importantes para la escritura, la lectura y el cambio entre los modos de interlocución.

En la figura 16 se observa el esquema de la metodología obtenida con los pasos realizados los cuales son importantes para entender el procedimiento y los resultados de las pruebas mencionadas.

Figura 16. Diagrama de flujo de la metodología.



Fuente: Elaboración propia.

7. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

En la sección de marco teórico, se presenta la recopilación de información en cuanto a los dispositivos electrónicos existentes que permiten la comunicación de personas sordociegas, así como también los lenguajes que estas personas utilizan para su comunicación. A partir de dicha información, fue posible definir los módulos que conformaran el dispositivo y sus requerimientos para el correcto funcionamiento del sistema que se está planteando.

7.1 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

El dispositivo de comunicación requiere de cuatro módulos fundamentales que se presentan en la figura 17. Los individuos que interactúan con el sistema son: la persona sin discapacidad, que para efectos prácticos se denominará persona 1, la unidad de control que se encarga de hacer el puente entre las personas y también organiza la correcta comunicación en cuanto a lo que refiere a lectura y escritura en ambas partes, la persona que cuenta con limitación en su audición y en su visión, que se denominará persona 2 y el sistema de alimentación que se encarga de suministrar la potencia a los diferentes componentes para su funcionamiento.

Figura 17. Módulos del dispositivo.



Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 2 se describen los requerimientos generales de cada uno de estos módulos.

Tabla 2. Requerimientos generales del sistema.

<p>Requerimientos de la Interfaz de Usuario sin Discapacidad</p>	<p>La interfaz de este usuario requiere una pantalla para visualizar lectura y un teclado Qwerty para ingresar escritura, siendo este el teclado más común para escritura en alfabeto latino</p> <p>La persona debe saber leer y escribir en alfabeto latino.</p>
<p>Requerimientos de la Interfaz de Usuario con Discapacidad</p>	<p>Se debe ajustar al tamaño de las manos porque debe ser cómoda para hacer el cambio entre escritura y lectura de tal forma que sin mayor esfuerzo la persona que pruebe el sistema se sienta cómoda y pueda manejarlo sin dificultad alguna.</p> <p>Dispositivo con matriz de lectura Braille y mínimo 6 teclas para escritura.</p> <p>3 teclas adicionales para control de escritura o lectura, y para “espacio” de palabras.</p>
<p>Requerimientos de la Unidad de Control</p>	<p>La unidad de control debe poseer los puertos suficientes para todas las entradas y salidas de la interfaz de lectura y escritura del usuario con discapacidad.</p> <p>La unidad de control debe permitir comunicar las interfaces de comunicación de ambos usuarios con algún protocolo de comunicación digital.</p> <p>No requiere mayores recursos de procesamiento y memoria puesto que únicamente decodificará los diferentes caracteres a los lenguajes respectivos a una velocidad de escritura y lectura relativamente lenta, comparado con la velocidad de procesamiento de procesadores digitales actuales.</p>
<p>Requerimientos del Sistema de Alimentación</p>	<p>Para que el sistema sea portable, se requiere de una batería recargable con una autonomía de por lo menos 1 día.</p>

Fuente: Elaboración propia.

8. DISEÑO

A continuación, se presenta el diseño de cada uno de los módulos, tratando de cumplir con los requerimientos mínimos descritos en la sección anterior.

8.1 INTERFAZ DE USUARIO CON DISCAPACIDAD

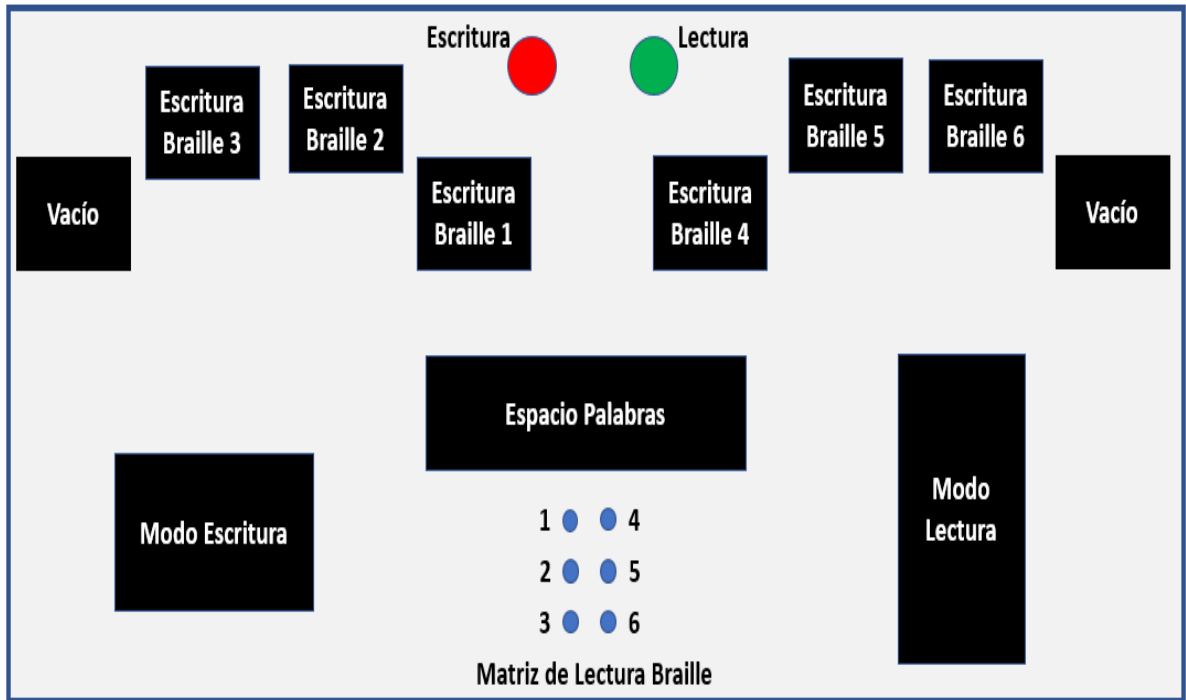
Para la persona 2 el dispositivo cuenta con dos partes principales: una interfaz de lectura, que es una matriz de 2 x 3, con una separación vertical entre ellos de 2 milímetros y la separación entre las dos filas es de 3 milímetros. Estos actuadores mecánicos se encuentran distribuidos en un área menor a la de la yema de los dedos. El movimiento de la matriz se realiza por medio de relés que presentan un estado alto o bajo según la programación y su correspondiente variación en el movimiento físico. De esta forma podrá leer el mensaje inicial y los mensajes que escriba la persona 1.

También cuenta con una interfaz de escritura la cual se compone de 6 botones o teclas distribuidas así: tres hacia la mano izquierda y tres hacia la mano derecha, pero siendo estos independientes de tal manera que la persona pueda ubicar los dedos de manera fácil y ergonómica; incluso tiene un cuarto botón a lado y lado sin funcionamiento para que el dedo meñique se apoye, facilitando la orientación de los dedos en el dispositivo para que la persona sordociega pueda escribir el mensaje que quiere compartir con la persona 1.

Adicionalmente el dispositivo cuenta con un botón ubicado a mano derecha de la matriz de lectura, que le permite cambiar a modo lectura, un botón central que funciona como el espacio entre palabras y, finalmente un botón a la parte izquierda que cambia a modo escritura. Así como un motor que hace las veces de vibrador para proporcionar la seguridad de cambio de estado en la comunicación.

En la figura 18 se observan los botones destinados para ejecutar los modos de lectura y escritura de la manera como se implementó en el dispositivo.

Figura 18. Interfaz persona sordociega.



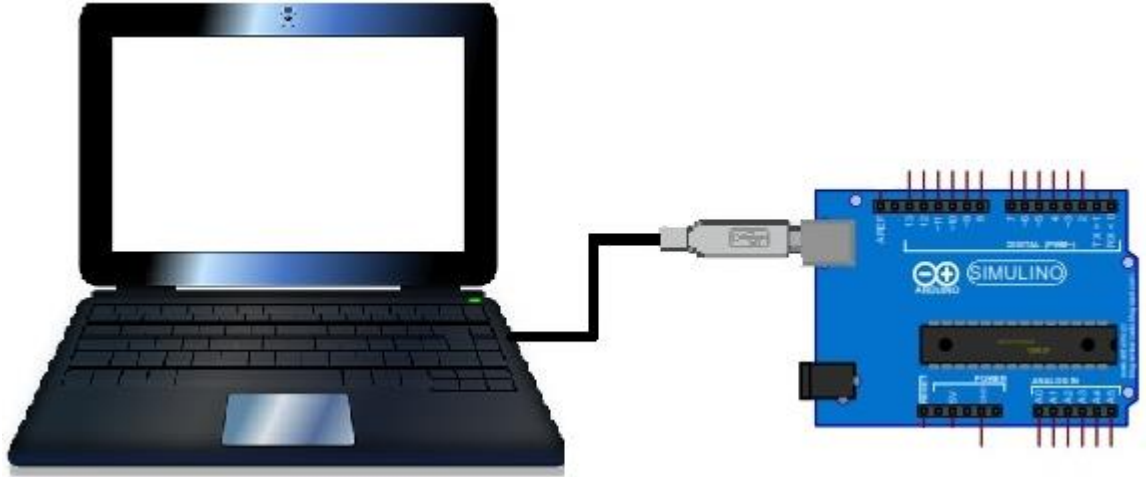
Fuente: Elaboración propia.

8.2 INTERFAZ DE USUARIO SIN DISCAPACIDAD

Para la persona 1 que no tiene discapacidad en el lenguaje, en el intercomunicador se encuentran dos leds, uno de color verde y otro de color rojo que le permite distinguir el estado en que esta el diálogo y saber qué quiere la persona 2; si el led verde esta encendido significa que puede escribir un mensaje por medio del teclado pero, si el led rojo esta encendido quiere decir que le corresponde leer el mensaje por medio de la pantalla que le está escribiendo la persona 2.

Como interfaz de lectura y escritura para la persona sin discapacidad se optó por un computador con teclado Qwerty y pantalla, que se comunica de forma serial a la unidad de control. Se optó por esta solución, por ser las más inmediata, y el desarrollo principal está enfocado en el dispositivo de la persona con discapacidad. No obstante, teniendo en cuenta la flexibilidad de Arduino (la unidad de control seleccionada), se podría implementar una interfaz más portable para el usuario sin discapacidad, como una aplicación móvil, por ejemplo. El dispositivo se comunica como se ilustra en la figura 19.

Figura 19. Comunicación serial intercomunicador y computador.



Fuente: Elaboración propia.

8.3 UNIDAD DE CONTROL

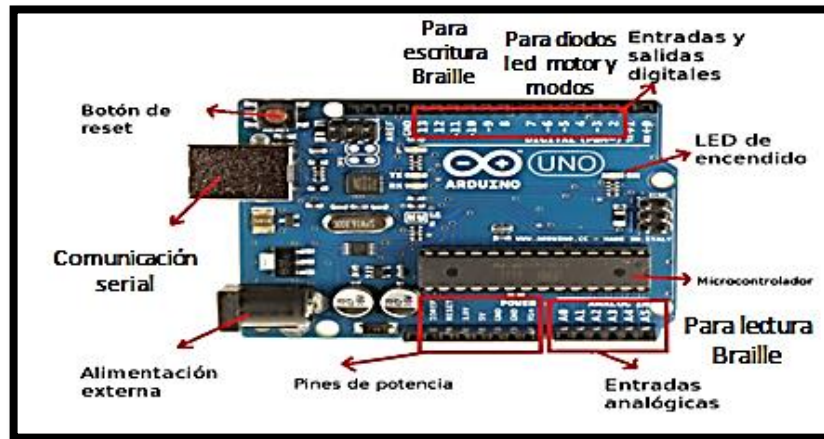
El sistema Arduino es un dispositivo abierto al desarrollo y a la investigación, gratuito en todo sentido siempre que los códigos sean compartidos y para ayuda de más implementaciones. Este desarrollo que se realizó no tiene fin lucrativo y por el contrario quiere incentivar que continúen minimizando los posibles errores y cerrando la brecha de la comunicación con personas que tienen estas limitaciones o tal vez alguna patología distinta o similar.

Por tanto, Arduino es un seguro que permitirá bajar los costos de producción del dispositivo y ayudará a la evolución de este con más tiempo; todo esto con el fin de ayudar a la inclusión de este tipo de personas a la sociedad y para que la desigualdad sea cada vez menor en la sociedad.

Los puertos necesarios para el dispositivo son 18 y debido a que el Arduino Uno cuenta con el mismo número de salidas en sus puertos entre digitales y análogos, con esta tarjeta se cubren las necesidades y se ajusta en tamaño y forma para optimizar el espacio del dispositivo internamente.

En la figura 20 se observan las entradas análogas que corresponde a la lectura braille, lo que compete a la escritura braille se maneja en los puertos digitales del 8 al 13.

Figura 20. Diagrama puertos utilizados en el sistema.



Fuente: TECNOLOGÍA, PROGRAMACIÓN Y ROBOTICA. [en línea]. <http://tecprorob.blogspot.com/2016/05/arduino-uno-rev3.html> Recuperado en: 2020-03-19

En la tabla 3 se encuentra la equivalencia a la que corresponde cada salida o entrada del Arduino con su respectiva función de lectura o escritura en el sistema de acuerdo con los lineamientos de la programación. En total se utilizan 18 GPIOs.

Tabla 3. Descripción de salidas en el Arduino.

Arduino	Matriz Lectura	Arduino	Función	Arduino	Teclado
Puertos Análogos	Equivalencia	Puertos Digitales	Equivalencia	Puertos Digitales	Equivalencia
A0	Lectura 1	2	Espacio	8	Escritura 6
A1	Lectura 2	3	Modo Lectura	9	Escritura 5
A2	Lectura 3	4	Modo Escritura	10	Escritura 4
A3	Lectura 4	5	Motor	11	Escritura 3
A4	Lectura 5	6	Led verde	12	Escritura 2
A5	Lectura 6	7	Led rojo	13	Escritura 1

Fuente: Elaboración propia.

8.4 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

El circuito cuenta con un módulo de carga y descarga de baterías de litio regulada en su entrada y salida a 5 voltios con una corriente de salida de 1.2 amperios y de entrada de 1 amperio y este a su vez sirve de protección a la batería y de posibles sobretensiones. El objetivo es que pueda suministrar la corriente necesaria que

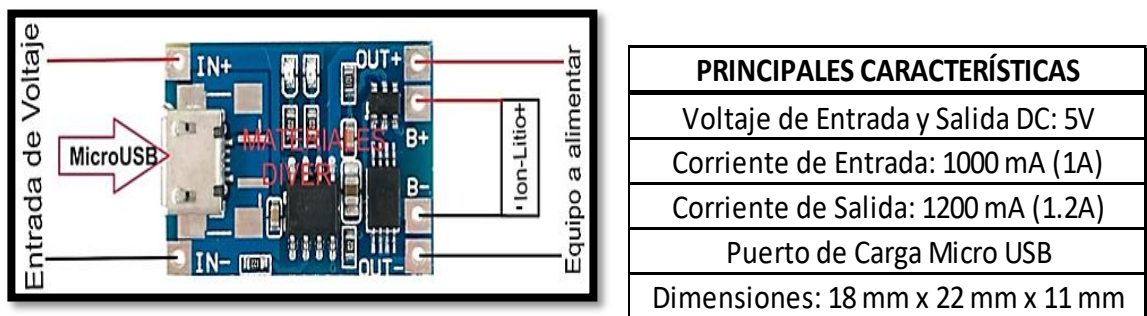
consumen las bobinas de los relés, así mismo para el movimiento del motor como vibrador o de los diodos leds.

La batería de litio utilizada es una de referencia 18650 recargable de 3.7 voltios a 2200 mAh con medidas de 65mm * 18mm la cual proporciona la durabilidad y potencia que se requiere para todo el sistema.

En general está pensado para que el dispositivo tenga una fuente de alimentación propia para que sea de cierta manera portátil y no tenga que estar conectado siempre a una toma de corriente ya que la batería de litio ofrece un buen rendimiento para el propósito descrito. Adicionalmente el precio del módulo de carga es bastante económico por lo que resulta una buena opción frente a su utilidad. En la figura 21 se observan sus puertos y principales características.

En cuanto al sistema de alimentación del Arduino este deber ir conectado físicamente al computador para hacer una comunicación por medio de puerto serial y la única conexión adicional requerida en cuanto a los puertos es la tierra que va conectada a la placa del circuito principal.

Figura 21. Diagrama módulo de carga y características.



Fuente: FERRETRONICA. [en línea]. <https://ferretronica.com/products/modulo-carga-y-descarga-baterias-litio-tp5400-5v-1-2a> Recuperado en: 2020-03-19

8.5 DISEÑO DE PCB

Para el diseño de la PCB se tiene en cuenta la cantidad de componentes que se requieren para el funcionamiento del circuito electrónico, así mismo el espacio físico que ocupan en la baquela, también se optimizó la organización de los mismos y de los elementos pasivos como los pulsadores, porque todo el cableado pasa o llega a esta placa y se debe tener una facilidad de acceder al circuito en caso de tener que revisar posibles fallas o de comprobar la distribución de los mismos.

Para identificar el correcto funcionamiento de los relés es indispensable encontrar el valor de la corriente que consumen estos, y así garantizarlo con el transistor. Por tanto se realizó una prueba de laboratorio, se implementó un circuito del funcionamiento básico del relé. Se abre y se inserta un multimetro en serie al circuito cerrandolo y verificando la corriente necesaria para mover la bobina del relé, de esta manera se obtuvo un consumo promedio de 48 mA.

Por tanto se implementaron transistores del tipo NPN, en este caso se usaron de referencia 2N2222A los cuales se saturan a partir de los 0.6 voltios y que dan una corriente pico de 2A. Para este propósito se usa la ganancia (HFE) mínima del transistor de tal manera que sí es necesario hacer ajustes se tenga en cuenta que el transistor se encuentra en estado de saturación y la corriente que circula no depende de este componente sino directamente de la carga que se le esta aplicando y es en este caso los relés.

Para hallar la resistencia de la base del transistor se usa la siguiente ecuación 1:

$$R_{base} = (V_{IN} - 0.6) * HFE / I_{relé} \quad (1)$$

Donde V_{in} es el voltaje de entrada que corresponde al voltaje de la unidad de control, el HFE corresponde a la ganancia del transistor según su referencia e $I_{relé}$ corresponde a la corriente que consume el relé en su funcionamiento.

Remplazando en la ecuación 1:

$$R_{base} = (5 \text{ v} - 0.6) * 50 / 0.048 \text{ A.}$$

$$R_{base} = 4.4 * 50 / 0.048 \text{ A.}$$

$$R_{base} = 4.584 \text{ ohmios.}$$

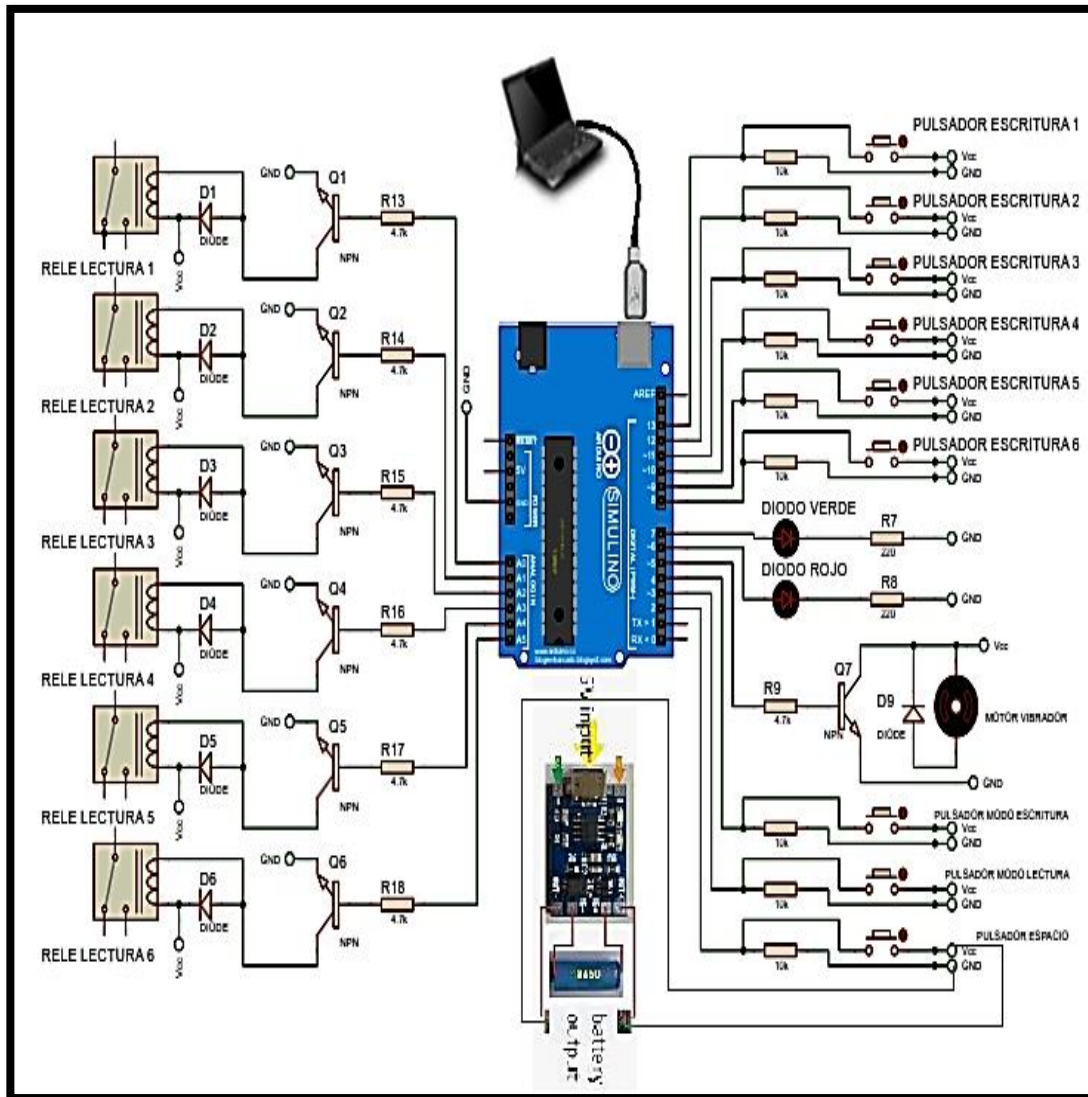
Como la resistencia obtenida es de 4.584 ohmios y no se consigue comercialmente se ha puesto el valor más cercano por encima que es de 4.700 ohmios asegurando la activación de los relés con los resultados obtenidos.

Por otra parte para evitar los picos de tensión que se propagan por las conexiones de alimentación cuando se conmutan los relés y que pueden dañar algún componente se ha colocado un diodo 1N4004 que viene en paralelo con la bobina del relé, polarizado inversamente para que pueda absorber estos picos de tensión y proteja los elementos como el transistor y el relé.

En la figura 22 se presenta el diagrama circuital con las conexiones de todos los componentes de la lectura y escritura entre la placa base y el Arduino como también la comunicación serial con el computador y el módulo de carga con la batería de litio. A partir de este esquema circuital se diseñó la placa principal de circuito

impreso en la cual se distribuyen los componentes para el funcionamiento de todo el sistema.

Figura 22. Diagrama circuital.



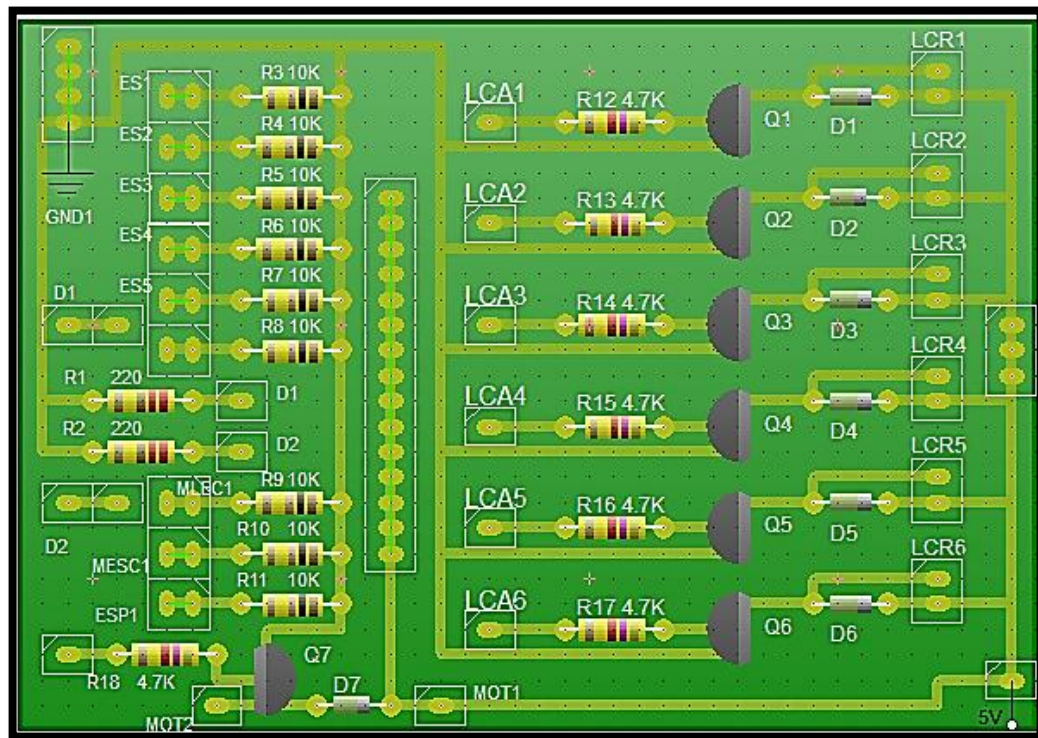
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 23 se encuentra el esquema de la placa o diseño de PCB que contiene los elementos del circuito el cual consta básicamente de resistencias, diodos y transistores los cuales van a amplificar la corriente necesaria para los relés actuadores de lectura. También allí irán los pulsadores que harán la parte de la escritura.

Para evitar posibles ruidos que se produzcan cuando se activen los pulsadores y que pueden interferir con el correcto funcionamiento del microcontrolador se han dispuesto resistencias de 10.000 ohmios entre las señales de salida de la unidad de control y los pulsadores con el otro extremo conectado a la tierra del circuito.

A esta placa también llegará el módulo de carga del circuito para ofrecer toda la alimentación, el motor vibrador de 3 voltios con una corriente de 0.051 A., que también tiene un arreglo como el que se implementó en los relés. Así mismo los diodos leds, los cuales serán controlados por el Arduino cuyo sistema tendrá también conexiones de entradas y salidas con sus respectivas polaridades. El diagrama se realizó en el software PCB Wizard³⁹.

Figura 23. Diagrama placa de componentes.



Fuente: Elaboración propia.

³⁹ NEW WAVE CONCEPTS. Tutorials and Courseware [en línea] <https://www.new-wave-concepts.com/ed/wizard.html> [citado 21 de noviembre de 2019]

8.6 DIAGRAMA DE FLUJO

Una vez descritos los diferentes componentes del medio, se diseña el diagrama de flujo que representa el funcionamiento del sistema, que será la base para la futura programación. Para empezar, se definen los requerimientos iniciales para que los interlocutores se posicionen al frente de su respectiva interfaz. Seguido a eso se encuentra los mensajes en paralelo para las dos personas a comunicar. Aquí se deja claro que la persona que tiene el control de los tiempos de comunicación es la persona discapacitada. Es esta persona quien decide cuando escribir un mensaje o leer un texto por medio de la matriz de Braille. (En el anexo B se presenta el manual del sistema).

Estos tiempos en la comunicación los inicia y los finaliza la persona sordociega, sin embargo, para la persona sin discapacidad será visible por medio de los indicadores luminosos leds que se encuentran en el dispositivo.

En el anexo A se describe el proceso lógico determinado para cumplir las funciones propuestas en el dispositivo.

9. IMPLEMENTACIÓN

9.1 ENSAMBLE.

Para el montaje se utilizó una caja de proyectos (véase figura 24) la cual va a contener en la parte exterior unos pulsadores con sus respectivas teclas, la matriz de lectura y los diodos led, que indican el modo de la comunicación. En la parte interna se encuentran los componentes con la tarjeta de distribución, el módulo de carga y el Arduino UNO como parte de control. También están los relés que son los utilizados para la matriz de lectura.

Figura 24. Esquema caja de proyectos.



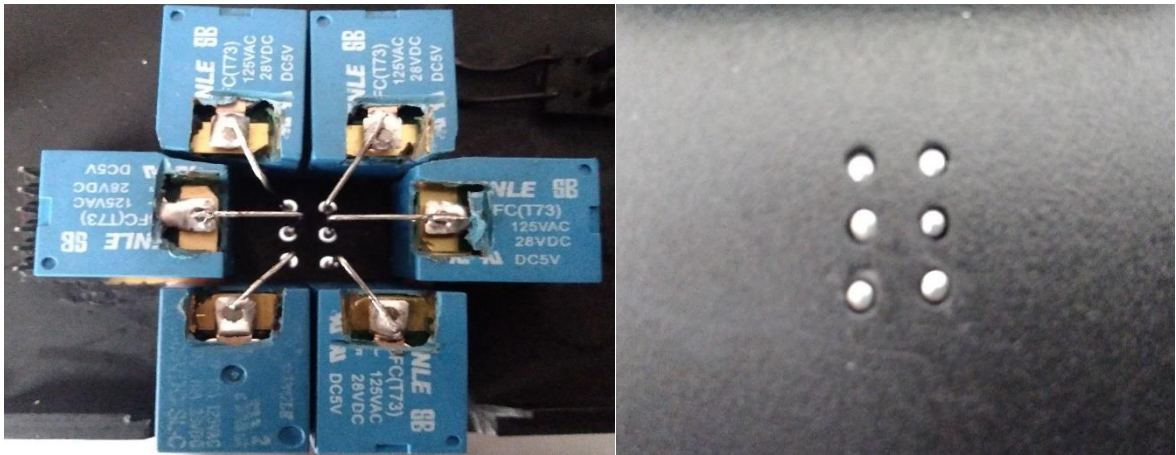
Fuente: ELECTRONICA Y MÁS. [en línea]. <https://electronicaymas.com/cajas-de-plastico/809-cm023-caja-de-plastico-160x95x55.html> Recuperado en: 2020-3-18

También cuenta con cuatro orificios para sujetar la tapa a la base y dos orificios a cada extremo por la parte posterior, uno para realizar la conexión al computador mediante el cable USB y el otro con la conexión Micro-USB que corresponde al cable del módulo de carga del sistema. Las dimensiones de esta caja son 6.4 cm de alto, por 19.7 cm de largo por 11 cm de fondo.

9.2 MONTAJE DE LA INTERFAZ DE LECTURA DEL USUARIO CON DISCAPACIDAD

La parte más sensible del trabajo de grado es la matriz de lectura debido a que se utilizaron relés para que mediante el movimiento de su bobina interna permita el desplazamiento hacia arriba y hacia abajo (de acuerdo a su estado lógico) de un alfiler cuya cabeza es la que se siente cuando se genera el movimiento; en la figura 25 se puede observar la implementación de la interfaz de lectura braille en la parte interna los relés estratégicamente ubicados y en la parte externa las cabezas de los alfileres finamente acopladas.

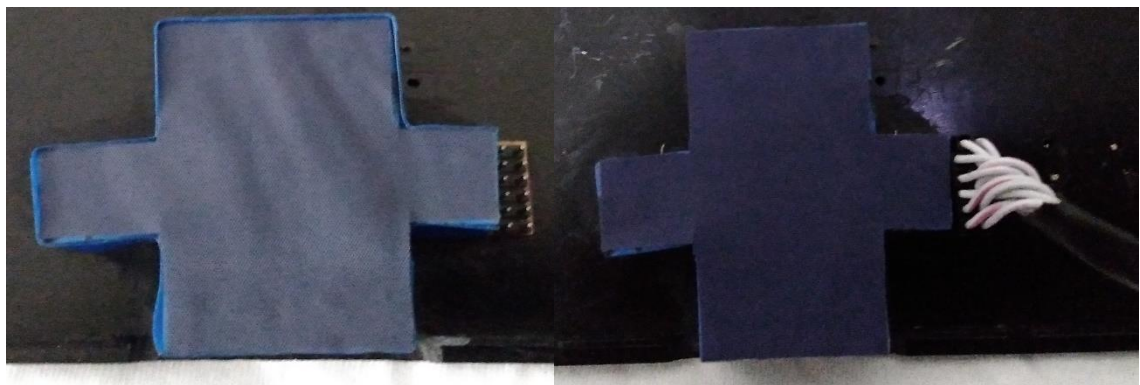
Figura 25. Matriz de lectura interna y externa.



Fuente: Elaboración propia

Posterior a este montaje se dio paso a proteger la estructura para evitar desacople en los pines de lectura y se instaló el cableado correspondiente como se observa en la figura 26.

Figura 26. Matriz de lectura interna protegida y cableada.

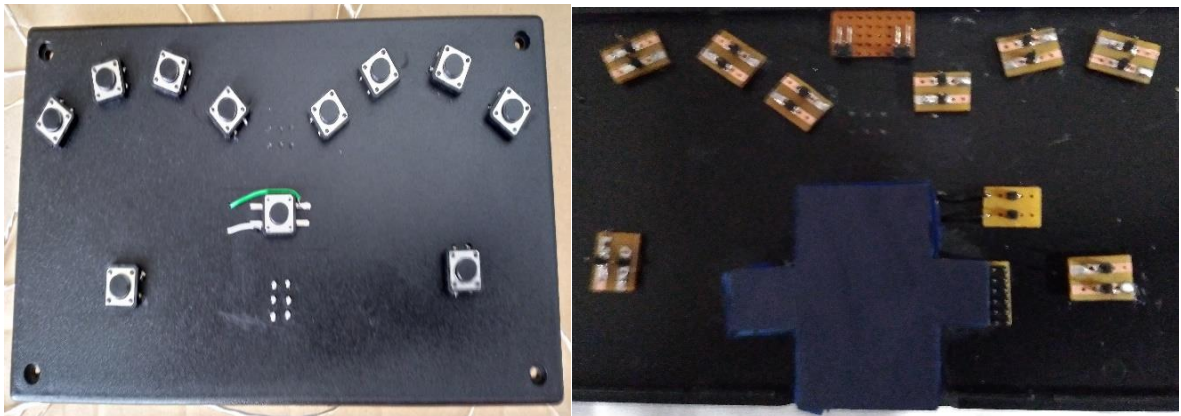


Fuente: Elaboración propia

9.3 MONTAJE DE LA INTERFAZ DE ESCRITURA DEL USUARIO CON DISCAPACIDAD

En esta sección se acoplo la parte de escritura para la persona con discapacidad y para esto se utilizaron pulsadores normalmente abiertos los cuales mediante diferentes combinaciones generan letras del alfabeto latino. Para esto se le acoplaron teclas de computador portátil las cuales se pueden girar para que la persona acomode sus dedos sin que sienta incomodidad al escribir un mensaje por tener una posición fija en dichas teclas (ver figura 27).

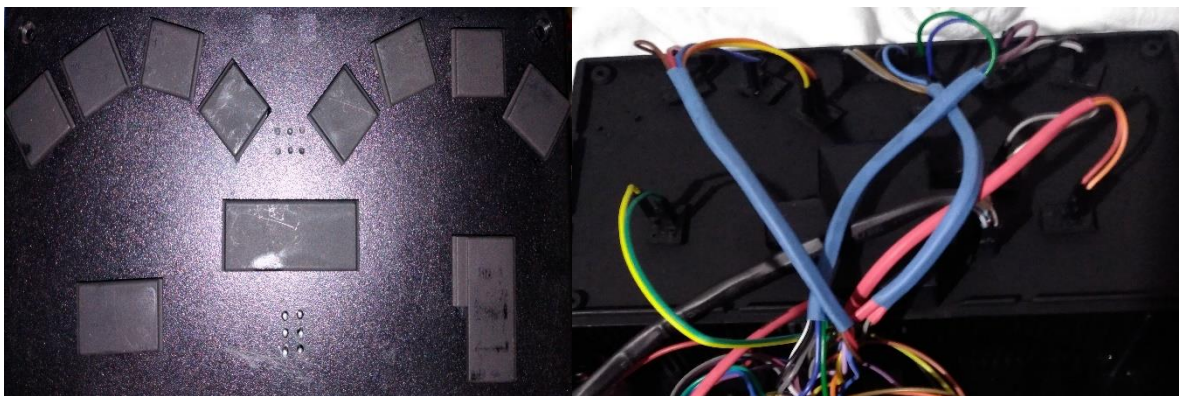
Figura 27. Botones de escritura vista externa e interna.



Fuente: Elaboración propia

Las teclas constan de 4 pulsadores para la mano derecha y cuatro para la mano izquierda, pero de estas solo están activas las tres primeras del centro hacia afuera en ambos lados; se decidió dejar las otras dos a los extremos para una mayor comodidad de la persona 2. Por otra parte, la tecla del centro es el espacio, la inferior derecha permite el de cambio a modo lectura, la tecla inferior izquierda a modo escritura de la persona 2 o discapacitada (ver figura 28).

Figura 28. Teclas de escritura parte frontal y posterior cableada.



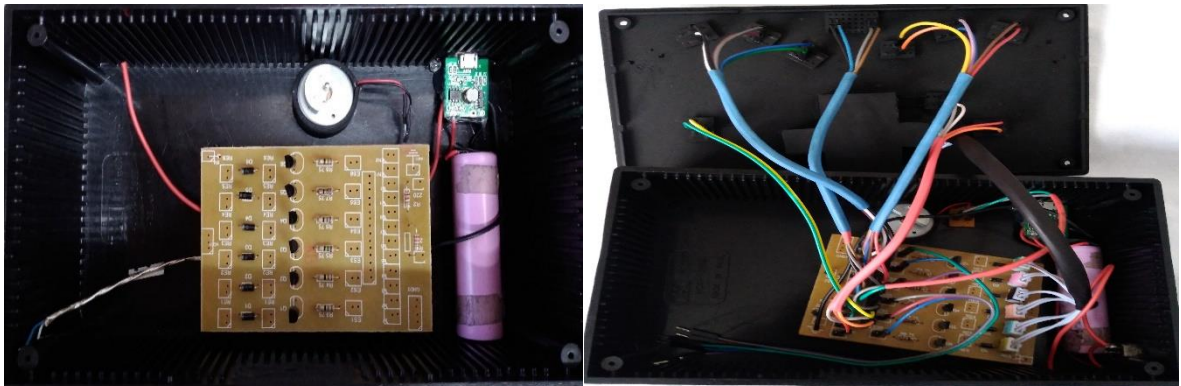
Fuente: Elaboración propia

9.4 MONTAJE PLACA PBC ARDUINO Y ALIMENTACIÓN

Luego de tener el sistema de lectura y escritura se procede a ubicar los diodos led en la tapa para posteriormente realizar su respectivo cableado. También se realiza el acople del resto de componentes como lo son la tarjeta principal o PCB a la cual llega la mayoría de los cables por lo que su ubicación debe ser estratégica para optimizar el espacio interior y evitar malas conexiones.

La parte de alimentación que compone el módulo de carga y la batería de respaldo quedan a un costado dejándolos bien asegurados para que cuando se conecte para cargar no se mueva de su posición. Adicionalmente, el motor vibrador se deja hacia el centro para que cuando se active su movimiento sea uniforme como se muestra en la figura 29 y al costado derecho se deja el botón interruptor de encendido y apagado.

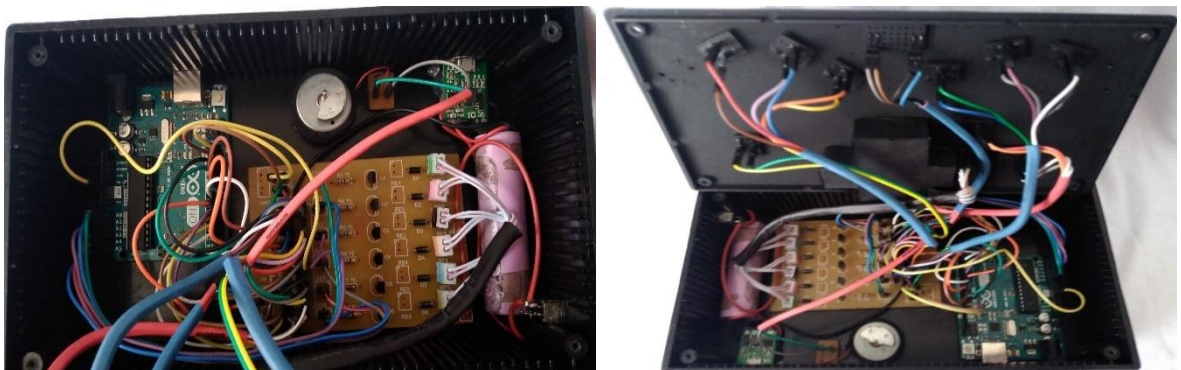
Figura 29. Posición PCB, motor y módulo de carga.



Fuente: Elaboración propia.

El Arduino por su parte se deja en la esquina izquierda con su respectivo hueco para la conexión de la comunicación serial y se procede a conectar los puertos como lo muestra la figura 30.

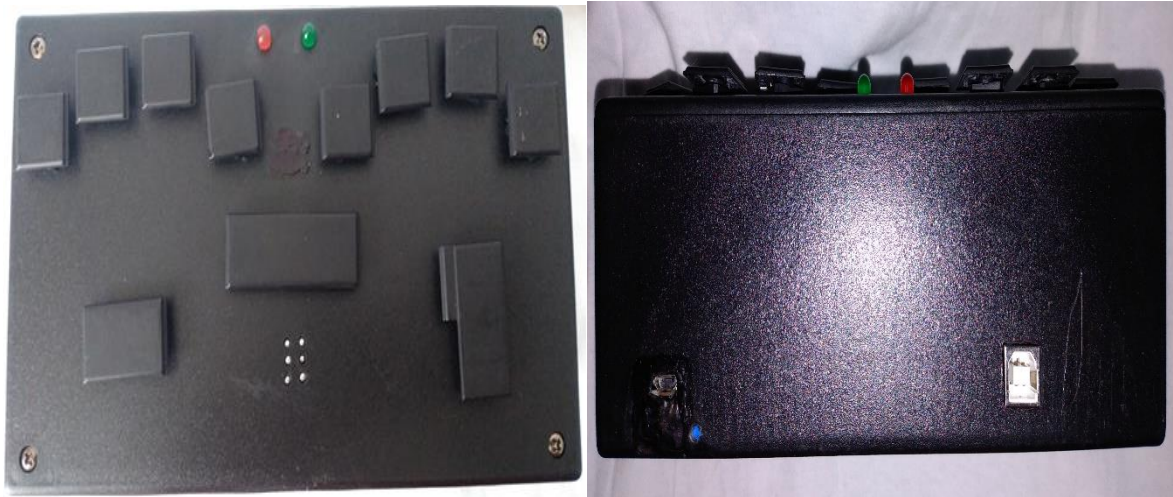
Figura 30. Posición final de todo el sistema.



Fuente: Elaboración propia.

El resultado final de la implementación es un sistema compacto, ligero y que se puede trasladar con facilidad confiando en que sus partes siempre van a mantenerse en su posición y no van a generar problemas en su funcionamiento. En la figura 31 se observa el dispositivo ya cerrado.

Figura 31. Modulo final (vista frontal y lateral).



Fuente: Elaboración propia.

9.5 PROGRAMACIÓN

A partir del diagrama de flujo previamente descrito se realizó la programación de los dos procesos principales, uno de lectura y otro de escritura de la persona discapacitada. Después de los mensajes iniciales tanto para el usuario 1 como para el 2, la lectura y escritura se hace convirtiendo letra por letra ya que no se requiere almacenar un mensaje, sino por el contrario para que la comunicación sea más directa y de forma casi simultánea, se realiza cambio de letra a letra y el resultado será una fluidez en la comunicación sin incurrir en tiempos de espera que lleven a descoordinación.

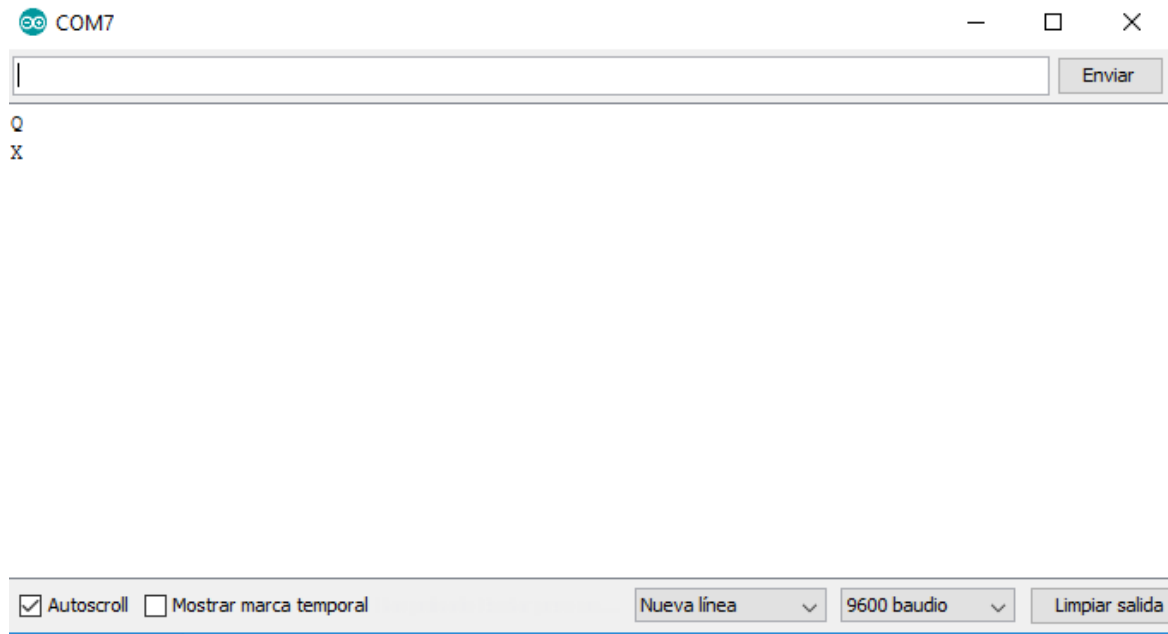
Como la escritura y la lectura por parte de la persona con discapacidad es a través de braille, se realiza un cambio de estado en las salidas de los pines del arduino de alto a bajo según la combinación; esto genera un cambio entre braille a la lengua latina (ver código en anexo C).

10. PRUEBA DEL DISPOSITIVO

Las pruebas iniciales que se realizaron al dispositivo se enfocaron en la lectura braille. Inicialmente se comprobó que los pines de salida se encontraran en la posición correcta que es aproximadamente a 1 mm sobre la base, debido a que es importante que se puedan distinguir cuando están dos o más activos.

También se comprobó el correcto funcionamiento del código cuando hay intercambio de letras en tiempo y lógica el cual se definió en 1000 milisegundos cuando cambian las letras de una palabra. En la figura 32 se observa la interfaz gráfica en el computador en la cual se reciben y se escriben mensajes a la persona con discapacidad. A continuación, se evidencia el funcionamiento de la lectura de las letras en la matriz de 2 x 3 con la decodificación del dispositivo, se envían dos letras y se muestra la salida de pines en la matriz de lectura como se observa en las figuras 33 y 34.

Figura 32. Interfaz Usuario sin discapacidad (enviando letras “Q” y “X”).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 33. Matriz de lectura. Letra "Q".



Figura 34. Matriz de lectura. Letra "X".



Fuente: Elaboración propia.

Posterior a eso se realizó pruebas al proceso de la escritura, lo cual fue un poco más complejo debido a la combinación que se implementó en el código para dar la lectura en pantalla de manera adecuada a cada letra que se pretende representar debido a que si no se oprimen al tiempo las teclas de acuerdo con la letra en braille se puede incurrir en una mala interpretación por parte del microprocesador y este no ejecutaría ninguna acción.

Es por esto que la coordinación en este aspecto debe ser al tiempo para evitar errores de escritura. A continuación, se describe la tabla 4 para entender las combinaciones necesarias de los interruptores por cada letra:

Tabla 4. Descripción de combinaciones de las letras en la escritura.

Letra	Combinación Puertos Microprocesador	Combinación Intercomunicador
A	13	Escritura 1
B	13+12	Escritura 1+2
C	13+10	Escritura 1+4
D	10+13+9	Escritura 4+1+5
E	13+9	Escritura 1+5
F	12+10+13	Escritura 2+4+1
G	12+13+9+10	Escritura 2+1+5+4
H	12+13+9	Escritura 2+1+5
I	10+12	Escritura 4+2
J	12+10+9	Escritura 2+4+5
K	13+11	Escritura 1+3
L	11+13+12	Escritura 3+1+2
M	11+10+13	Escritura 3+4+1
N	10+9+11+13	Escritura 3+5+4+1
Ñ	13+12+10+9+8	Escritura 1+2+4+5+6
O	11+9+13	Escritura 3+5+1
P	11+12+10+13	Escritura 3+2+4+1
Q	11+12+10+13+9	Escritura 3+2+4+1+5
R	11+9+12+13	Escritura 3+5+2+1
S	10+11+12	Escritura 4+3+2
T	10+9+12+11	Escritura 4+5+2+3
U	13+11+8	Escritura 1+3+6
V	13+11+8+12	Escritura 1+3+6+2
W	12+10+9+8	Escritura 2+4+5+6
X	8+11+10+13	Escritura 6+3+4+1
Y	8+9+10+11+13	Escritura 6+5+4+3+1
Z	8+9+11+13	Escritura 6+5+3+1

Fuente: Elaboración propia.

Se realizaron varias pruebas para una mejor programación en la escritura, ya que no todas las programaciones funcionaban correctamente, por ejemplo, una sola condicional por cada letra no resulto exitosa por lo que se optó por “IF anidados”,

sin embargo, también se consideraron varias opciones de inicio de estas condicionales para que no se quedara encerrado el proceso en uno de ellos.

Otra parte que se revisó fue que el motor ejecutara una vibración para indicarle a la persona discapacitada el cambio de estado de lectura a escritura y viceversa. Por último, se revisó el cambio de estado en los diodos led para tener un buen control en los cambios de modo de la comunicación que en definitiva ofrecen a la persona 1 la orientación para recibir o enviar mensajes.

Finalmente se acoplaron los dos procesos de lectura y escritura en dos “IF” generales y se ajustaron los tiempos de respuesta para dar una fluidez adecuada al intercomunicador. A continuación, en las figuras 35 y 36 se muestran los procesos de lectura y escritura como se ven en las dos interfaces de persona 1 y persona 2.

Figura 35. Intercomunicador proceso lectura.

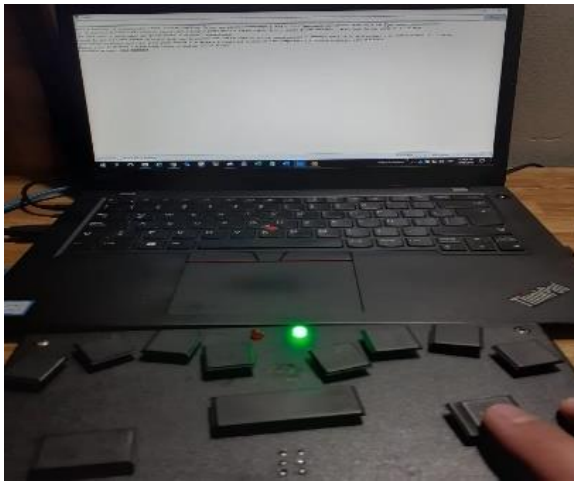
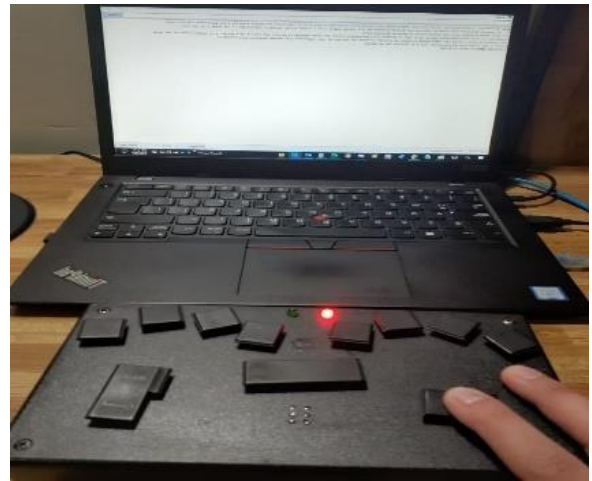


Figura 36. Intercomunicador proceso escritura.



Fuente: Elaboración propia.

11. ANALISIS DE RESULTADOS

El dispositivo intercomunicador de personas sordociegas y una persona sin discapacidad funciona de acuerdo con los objetivos planteados inicialmente, con una interfaz determinada para cada persona. Los cálculos de consumo en el circuito también responden correctamente a su funcionamiento según la tabla 5 en la que se muestra el amperaje promedio de los componentes lo que permite identificar la duración aproximada de la batería con la que cuenta el dispositivo:

Tabla 5. Consumo de corriente por cada elemento del circuito.

Elemento Electrónico	Consumo de Corriente (A)	Cantidad de Elementos utilizados	Corriente Total por Cada Elemento (A)
Bobina Relé	0,048	6	0,288
Motor	0,051	1	0,051
Leds	0,15	2	0,3

Fuente: Elaboración propia.

- El total de la corriente consumida por el circuito es de 0,639 Amperios.
- La batería cuenta con un voltaje de 3,7 Voltios y una corriente de 2,2 Amperios.
- Por otro lado, el circuito cuenta con un Voltaje de 5 Voltios y un consumo pico de 0,639 Amperios.

Relación de Potencia de la batería frente a la Potencia consumida.

- P_b = Potencia de la batería, se obtiene multiplicando la Corriente por el Voltaje de la batería.
- P_c = Potencia del Circuito se obtiene multiplicando la Corriente por el Voltaje del circuito.

En la ecuación 2 se determina la relación de potencia así:

$$P_b = 2,2 * 3,7 = 8,14 \text{ Wb} \quad (2)$$

$$P_c = 0,639 * 5 = 3,19 \text{ Wc}$$

Relación de potencia para identificar el consumo en horas del circuito.

$$W_b / W_c = 8.14 / 3.19 = 2,55 \text{ Horas}$$

Se puede establecer que el dispositivo cuenta con una autonomía en la batería de alrededor de 3 horas en consumo máximo, si se pone en contexto un consumo promedio teniendo en cuenta que todos los elementos del circuito no funcionan al tiempo, este se duplicaría obteniendo una autonomía de alrededor de 6 horas lo que prácticamente equivale a una jornada laboral o estudiantil.

Así las cosas, el dispositivo permite comunicar a la persona discapacitada con las personas a su alrededor en teoría durante su jornada productiva. Por otro lado, para la lectura en el dispositivo se dejó el tiempo de 1 segundo entre cada cambio de letras, pero este tiempo permite ser ajustado debido a que puede ser muy rápido y no será fácilmente detectado en el dedo por lo que no se entenderá el mensaje.

Adicional, en la tabla 4 se expresa la combinación de las entradas de Arduino junto con los números de los interruptores descritos en la figura 18; esto se hace para entender mejor el funcionamiento interno y la programación necesaria como los "IF" anidados que se utilizaron en el proceso de la escritura.

12. CONCLUSIONES

Concluido este trabajo de grado, se cuenta con un prototipo funcional que permite traducir mensajes bidireccionales entre lenguaje braille y alfabeto Latino, con interfaces adecuadas para tal fin. Sin embargo, para tener una opinión objetiva sobre el correcto funcionamiento del dispositivo, es necesario realizar pruebas con una muestra de personas sordociegos para tener retroalimentación y aplicar las mejoras pertinentes a su opinión.

Se identificaron los diferentes métodos de comunicación en las personas sordociegas determinando cual sistema se puede implementar para ofrecer un dispositivo que no fuera costoso, fácil de manejar y que cumpliera con todas las necesidades básicas en una comunicación para estas personas, tratando siempre de respetar sus limitaciones, teniendo en cuenta que la manera como aprenden de su entorno es muy diferente al resto.

El dispositivo de comunicación bidireccional ayuda a la comunicación de cualquier persona sin ningún conocimiento en lenguaje de señas braille o similar y permite que una persona con discapacidad logre expresarse sin ni siquiera conocer o haber interactuado antes con la otra persona.

Con el dispositivo final se logró mitigar la limitación de comunicación. Esto incluye de una forma más apropiada a personas con discapacidad brindando a través de una herramienta la forma de comunicarse e interactuar con su entorno de una forma útil y ágil.

Dicho prototipo fue evaluado desde el punto de vista funcional, pero aún es necesario determinar la viabilidad de su masificación entre el grupo poblacional. Los sistemas de comunicación remota mejorarán dramáticamente la inclusión social y participación en la sociedad activa para personas sordas y ciegas, permitiendo un nivel de acceso a la información y a la interacción con la comunidad.

Con las pruebas finales que se realizaron se pudo establecer que no solo es un dispositivo para comunicarse como se planteó inicialmente, sino que, además es una herramienta que puede ser utilizada para enseñar el lenguaje braille tanto en lectura como en escritura por lo que su versatilidad la define como una herramienta de gran ayuda para temas didácticos.

13. RECOMENDACIONES Y MEJORAS

En este trabajo de grado se optó por utilizar un computador con teclado y la interfaz gráfica de Arduino como interfaz del usuario sin discapacidad. Sin embargo, resulta necesario desarrollar una interfaz gráfica más amigable y portable para este usuario, teniendo en cuenta que no todas las personas están familiarizadas con esta tecnología.

Para que la lectura por parte del usuario con limitaciones sea más rápida el dispositivo puede contar con más de una matriz de 2 x 3 en el cual el sistema arroje más de una letra y por ende se tenga un mensaje completo más fácil de interpretar por la persona sordociega. El dispositivo actual cuenta solo con una matriz de lectura. Las personas sordociegas podrían tener mayor control de la lectura si se movieran por medio de un reglón con varias matrices en paralelo.

También se podría implementar un sistema de comunicación entre los interlocutores vía bluetooth o por red Wi-Fi para que este sea totalmente portátil y la persona sordociega lo pueda usar en cualquier lado sin la necesidad de estar en frente de la persona con la que se quiere comunicar.

La validación definitiva del prototipo se debe hacer con las personas sordociegas ya que en última instancia son quienes pueden comprobar el sistema y hacer sus observaciones en cuanto a su funcionamiento de tiempos, sensación en los dedos, entendimiento y facilidad para el uso de este.

BIBLIOGRAFÍA

1. A. Silva, E. Casanova, A. Zambrano, C. Borges y A. Salazar, «Experiencias en tecnología portable para comunicación y Monitoreo personal de bajo costo,» *IV Congreso Venezolano de Bioingeniería*, 2012.
2. APKPURE. [En línea]. Recuperado en 2019-9-8. Disponible en: <https://apkpure.com/es/blind-sms-reader-3-2-pro/michelepisani.sms.pro.blindsmsreader>
3. Asociación de Sordociegos de España. Nadie se queda atrás: informe global sobre personas con sordoceguera. Madrid. [En línea]. Recuperado en 2020-5-2. Disponible en: <http://www.asocide.org/principal/nadie-se-queda-atras-informe-global-sobre-personas-con-sordoceguera/>
4. ASOCIDE, «Definición de la sordoceguera,» 12 Septiembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.asocideandalucia.org/sordoceguera/definicion-de-la-sordoceguera>.
5. C. Cardenas buitrago, «C. Diseño y construcción de un prototipo de telecomunicación para las personas con limitación auditiva, aplicado en actividades deportivas basado en ayudas aumentativas,» Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, 2016.
6. C. Hernández Suarez y L. Jiménez Hernández, «D. Desarrollo tecnológico para el mejoramiento de la comunicación a distancia entre personas con discapacidad,» *Rev. Salud Pública.*, pp. 828 - 835, 2009.
7. COLOMBIA. MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL. INSTITUTO NACIONAL PARA SORDOS. INSOR. Caracterización de las personas sordociegas en Colombia. Bogotá. [En línea]. Disponible en: http://www.insor.gov.co/observatorio/download/Sordoceguera_jun_2016.pdf [Último acceso 2020-5-4]
8. CONNECTUS Consulting Inc., «The Evolution of Alternative Communications Technologies for the Deaf Hard of Hearing and Speech Impaired,» CRTC, Ottawa, 2012.

9. E. Camacho Hernández, «B. Necesidades que perciben los educadores para atender a la población con sordoceguera ubicada en aulas especiales,» Universidad de Costa Rica, San Juan, 2002.

10. E. Galeano, 01 Noviembre 2010. [En línea]. Available: <https://crkitty.files.wordpress.com/2010/11/sac2.doc>. [Último acceso: 08 Septiembre 2019].

11. F. Sorgini, R. Calì, M. Carrozza y M. Calogero, «Haptic-assistive technologies for audition and vision sensory disabilities,» *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, pp. 18 - 39, 2017.

12. GOOGLE INC. Google Play. [En línea]. Recuperado en 2019-9-8. Disponible en: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.googlecode.eyesfree.brailleback&hl=es_419

13. H. Nicolau, K. Montague, T. Guerreiro, A. Rodrigues y V. Hanson, «HoliBraille: Multipoint Vibrotactile Feedback on Mobile Devices,» *Rochester Institute of Technology*, pp. 18 - 20, 2015.

14. J. T. Cuadrado, «Uso y abuso de los sistemas de comunicación,» *Comunicación, lenguaje y educación*, pp. 81-84, 1989.

15. J. Tamarit, «Sistemas alternativos de Comunicación en autismo: algo mas que una alternativa,» *Alternativas para la comunicación*, pp. 3 - 5, 1988.

16. L. Russo, G. Farulla, D. Pianu, A. Salgarella, M. Controzzi, C. Cipriani, C. Oddo., G. Geraci, E. Rosa y M. Indaco, «PARLOMA – A Novel Human-Robot Interaction System for Deaf-Blind Remote Communication,» *International Journal of Advanced Robotic Systems*, pp. 12 - 57, 2014.

17. LLOYD, KARLAN,. Sistema alternativo de comunicación. [En línea]. Recuperado en 2020-5-5. Disponible en: <https://www.efdeportes.com/efd157/sistema-alternativo-de-comunicacion.htm>

18. M. García Dorado, «Sistemas de comunicación de personas sordociegas,» de *La sordoceguera. Un análisis multidisciplinar*, Madrid, Organización Nacional de Ciegos Españoles (ONCE), 2004. 533 p.

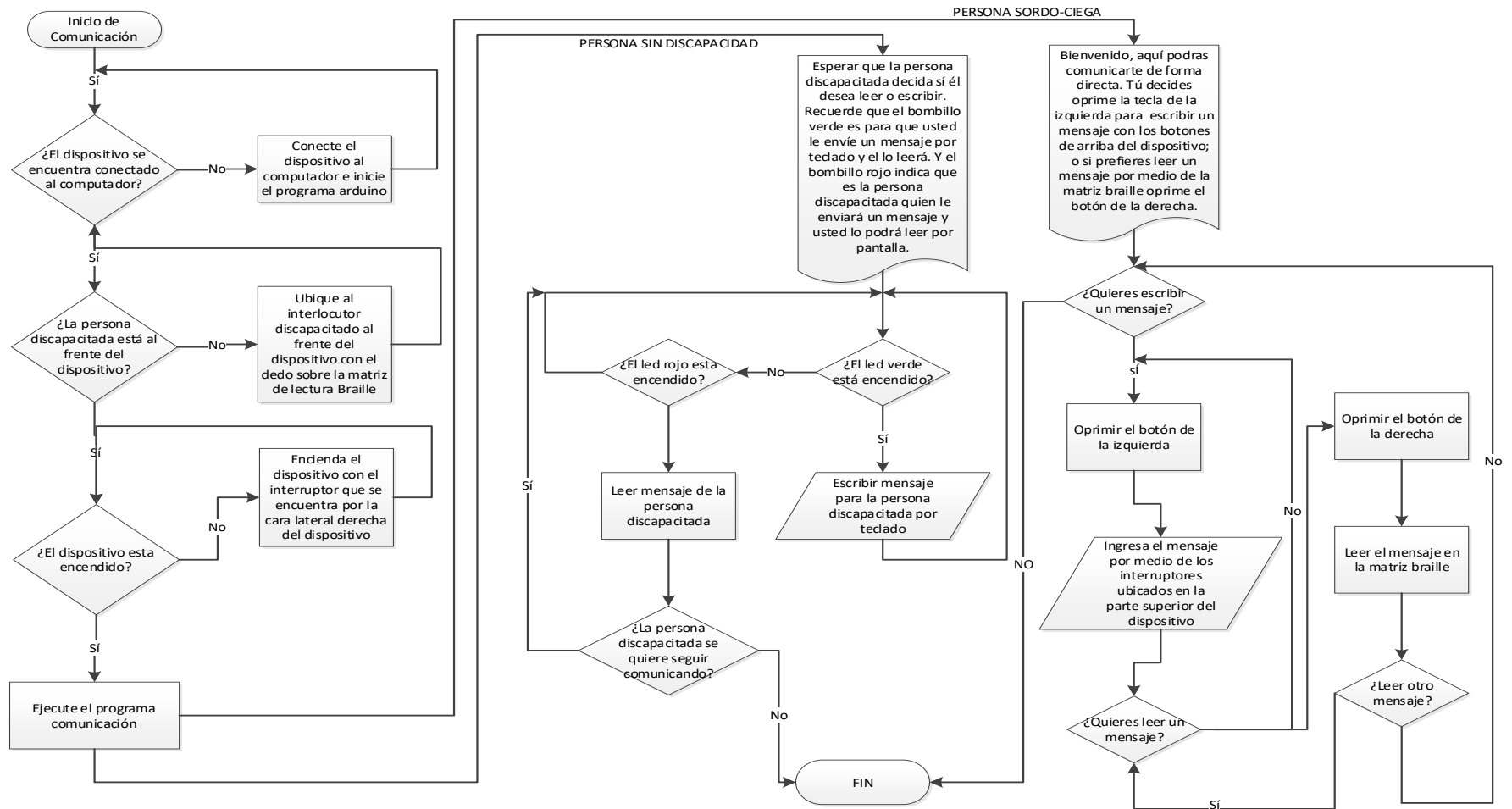
19. M. Hersh, «Deafblind people, stigma and the use of communication and mobility assistive devices,» *Technology and Disability*, p. 245–261, 2013.

20. N. Caporusso, «A Wearable Malossi Alphabet Interface for Deafblind People,» *IMT Alti Studi Lucca*, pp. 445 - 449, 2008.
21. National Institute on Deafness and Other Communication Disorders , «What is an assistive device?,» [En línea]. Available: www.nidcd.nih.gov/health/hearing/Pages/Assistive-Devices.aspx. [Último acceso: 10 Octubre 2019].
22. NEW WAVE CONCEPTS. Tutorials and Courseware [en línea] <https://www.new-wave-concepts.com/ed/wizard.html> [citado 21 de noviembre de 2019]
23. O. Ozioko y M. Hersh, «Development of a Portable Two-Way Communication and Information Device for Deafblind People,» *Biomedical Engineering*, pp. 10 - 19, 2015.
24. O. P. Loza Peñaloza, «Sistema electrónico braille para la ayuda en el aprendizaje de personas no videntes,» *Dspace*, pp. 209 - 225, 2008.
25. OWNPHONE. US. [En línea]. Recuperado en 2019-10-24. Disponible en: <https://ownphone.com/buy-ownphone>
26. Oziokou, O, Taube W, Hershu M, Dahiya R. SmartFingerBraille: A Tactile Sensing and Actuation based Communication Glove for Deafblind People. University of Glasgow, 2017.
27. Quiroz M, German, ROSAS Z, Diego. Pantalla táctil para personas con discapacidad. [En línea]. Recuperado en 2019-9-29. Disponible en: http://es.slideshare.net/qger/capitulo-3-3687363?from_action=save
28. S. Cerrada, «Sistemas de comunicación para personas sordociegas.,» 15 Septiembre 2019. [En línea]. Available: <http://www.feandalucia.ccoo.es/indicei.aspx?p=62&d=230>.
29. S. Collado y J. A. Gimenez, «Tiflotecnología,» ONCE, Madrid, 2017.
30. S. Ohtsuka, N. Sasaki, S. Hasegawa y T. Harakawa, «Body-Braille System for Disabled People,» de *ICCHP*, Berlin, Springer-Verlag, 2008, p. 682–685.
31. T. Choudhary, S. Kulkarni y R. Pradyumna, «A Braille-Based Mobile Communication and Translation Glove for Deaf-blind People,» de *2015 International Conference on Pervasive Computing (ICPC)*, Goa, 2015.

32. TECHNOLOGIES HUMANWARE. Drummondville, Quebec. [En línea]. Recuperado en 2019-10-10. Disponible en: <https://store.humanware.com/hes/brilliant-bi14-braille-display.html>
33. Trippe, A. with contributions from WIPO Secretariat. Guidelines prepared for the World Intellectual Property Organization (WIPO). Geneva. 2015, pp. 53 – 57
34. U. Gollner, T. Bieling y G. Joost, «Mobile Lorm Glove – Introducing a Communication Device for Deaf-Blind People,» *Einsteinufer 43*, pp. 127 - 131, 2012.
35. Ulrike, G., Tom, B., & Gesche, J. Design Research Lab. [En línea]. Recuperado en 2019-10-22. Disponible en: <https://www.drlab.org/research-projects/example-for-copy-3/>
36. World Intellectual Property Organization. Assistive Devices and Technologies for Visually and Hearing Impaired Persons. PATENT LANDSCAPE REPORTS PROJECT, Genova, 2015.

15. ANEXOS

ANEXO A. DIAGRAMA DE FLUJO



ANEXO B. MANUAL DEL USUARIO

Primero que todo hay que aclarar que el control del diálogo o de la comunicación se le ha cedido a la persona 2, por medio de un mensaje inicial que recibirá al encender el dispositivo, lo que nos lleva a que la primera instrucción es que la persona 2 lea el siguiente mensaje que estará disponible como una hoja de ruta en lenguaje braille y que contendrá el siguiente mensaje:

“Bienvenido, aquí podrás comunicarte de forma directa. Tú decides oprime la tecla de la izquierda para escribir un mensaje con los botones de arriba del dispositivo; o si prefieres leer un mensaje por medio de la matriz braille oprime el botón de la derecha.:

- 1. Usted tiene el control de la comunicación y podrá decidir cuando quiere leer o escribir. A la derecha se encontrará una tecla que le permite cambiar de estado escrito a estado lectura, cada vez que haga cambio de estado sentirá una vibración. En este momento usted está en estado de lectura.*
- 2. En la parte superior cuenta con un teclado braille para que usted pueda escribir y comunicarse con el otro usuario.*
- 3. Pulse la tecla inferior derecha del dispositivo de lectura, sentirá una vibración, inicie su dialogo saludando a la otra persona, cuando finalice oprima de nuevo el botón para que la otra persona le devuelva el saludo”*

La interfaz para la persona 1, es por medio de un computador que cuenta con una ventana de dialogo donde recibirá instrucciones iniciales y también los mensajes de la persona 2. Además, por medio del teclado logrará enviar los mensajes que desee.

En simultánea con el usuario 2, la persona 1 recibirá el siguiente mensaje:

“Hola Bienvenido, a continuación, usted iniciara comunicación con una persona sordociega y para ello es importante que preste atención a las siguientes instrucciones:

- 1. El usuario discapacitado tiene el control del dialogo y podrá decidir cuando quiere leer o cuando quiere escribir. Identifique la luz verde y la luz roja, son para usted y podrá saber que quiere hacer la persona discapacitada: cuando la luz roja esta encendida quiere decir que la*

persona con limitaciones quiere que usted aguarde el mensaje que ella le va a enviar, y en cambio cuando la luz verde este encendida quiere decir que usted podrá enviarle un mensaje a través del teclado de este computador y él estará pendiente para recibirlo.

Espere a que la persona discapacitada inicie el dialogo con un saludo”.

ANEXO C. CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN

```

// *****INTERCOMUNICADOR PARA SORDOCIEGOS*****
int lectura;
int palabra;
String L1,L2,L3;
void setup() {
  // *****MENSAJE PERSONA SIN DISCAPACIDAD*****
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Hola Bienvenido, a continuación, usted iniciara comunicación con una persona sordociega y para ello es
importante que preste atención a las siguientes instrucciones:");
  Serial.println("1. El usuario discapacitado tiene el control del dialogo y podrá decidir cuando quiere leer o cuando quiere
escribir. Identifique la luz verde y la luz roja,\son para usted y podrá saber que quiere hacer la persona discapacitada:");
  Serial.println("cuando la luz roja esta encendida quiere decir que la persona con limitaciones quiere que usted aguarde el
mensaje que ella le va a enviar, y en cambio cuando la luz verde\este encendida quiere decir que usted podrá enviarle un
mensaje a través del teclado de este computador y él estará pendiente para recibirlo.\Espere a que la persona discapacitada
inicie el dialogo con un saludo.");

  pinMode(2, INPUT);
  pinMode(3, INPUT);
  pinMode(4, INPUT);
  pinMode(5, OUTPUT);
  pinMode(6, OUTPUT);
  pinMode(7, OUTPUT);
  pinMode(8, INPUT);
  pinMode(9, INPUT);
  pinMode(10, INPUT);
  pinMode(11, INPUT);
  pinMode(12, INPUT);
  pinMode(13, INPUT);
  pinMode(14, OUTPUT);
  pinMode(15, OUTPUT);
  pinMode(16, OUTPUT);
  pinMode(17, OUTPUT);
  pinMode(18, OUTPUT);
  pinMode(19, OUTPUT);
  digitalWrite(6, LOW);
  digitalWrite(7, LOW);
  digitalWrite(2, LOW);
  digitalWrite(8, LOW);
  digitalWrite(9, LOW);
  digitalWrite(10, LOW);
  digitalWrite(11, LOW);
  digitalWrite(12, LOW);
  digitalWrite(13, LOW);
  digitalWrite(14, LOW);
  digitalWrite(15, LOW);
  digitalWrite(16, LOW);
  digitalWrite(17, LOW);
  digitalWrite(18, LOW);
  digitalWrite(19, LOW);
  delay(1000);
}

void loop() {
  // put your main code here, to run
repeatedly:
  //si existe datos disponibles los
leemos
if (digitalRead (4) == HIGH) {
  Serial.println("ESPERANDO
MENSAJE PUEDE ESCRIBIR");
  digitalWrite(7, HIGH);
  delay(1000);
  digitalWrite(7, LOW);
  delay(1000);
  digitalWrite(5, HIGH);
  delay(1000);
  digitalWrite(5, LOW);
  delay(1000);
  digitalWrite(7, HIGH);
  delay(1000);
  digitalWrite(7, LOW);
}

if (digitalRead (13) == HIGH) {
  L1 = "A";
  if (digitalRead (12) == HIGH){
    L1 = "B";
  }
  if (digitalRead (10) == HIGH){
    L1 = "C";
  }
  if (digitalRead (9) == HIGH){
    L1 = "E";
  }
  if (digitalRead (10) == HIGH){
    if (digitalRead (13) == HIGH){
      if (digitalRead (9) == HIGH){
        L1 = "D";
      }
    }
  }
  if (digitalRead (12) == HIGH) {
    if (digitalRead (10) == HIGH){
      if (digitalRead (113) == HIGH){
        L1 = "F";
      }
    }
  }
  if (digitalRead (12) == HIGH) {
    if (digitalRead (13) == HIGH){
      if (digitalRead (9) == HIGH){
        L1 = "H";
      }
      if (digitalRead (10) == HIGH){
        L1 = "G";
      }
    }
  }
  if (digitalRead (10) == HIGH) {
    if (digitalRead (10) == HIGH) {
      if (digitalRead (9) == HIGH){
        L1 = "I";
      }
    }
  }
  if (digitalRead (12) == HIGH) {
    if (digitalRead (10) == HIGH){
      if (digitalRead (9) == HIGH){
        L1 = "J";
      }
    }
  }
  if (digitalRead (13) == HIGH) {
    if (digitalRead (11) == HIGH){
      if (digitalRead (12) == HIGH){
        L1 = "L";
      }
    }
  }
  if (digitalRead (11) == HIGH) {
    if (digitalRead (10) == HIGH){
      if (digitalRead (13) == HIGH){
        L1 = "M";
      }
    }
  }
  if (digitalRead (11) == HIGH) {
    if (digitalRead (9) == HIGH){
      if (digitalRead (13) == HIGH){
        if (digitalRead (10) == HIGH){
          L1 = "N";
        }
      }
    }
  }
  if (digitalRead (8) == HIGH) {
    if (digitalRead (12) == HIGH){
      if (digitalRead (10) == HIGH){
        if (digitalRead (13) == HIGH){
          if (digitalRead (9) == HIGH){
            L1 = "N";
          }
        }
      }
    }
  }
}

```



```

}
}
}
if (digitalRead (11) == HIGH) {
  if (digitalRead (12) == HIGH){
    if (digitalRead (10) == HIGH){
      if (digitalRead (13) == HIGH){
        L1 = "P";
      }
    }
  }
}
if (digitalRead (11) == HIGH) {
  if (digitalRead (12) == HIGH){
    if (digitalRead (10) == HIGH){
      if (digitalRead (13) == HIGH){
        if (digitalRead (9) == HIGH){
          L1 = "Q";
        }
      }
    }
  }
}
if (digitalRead (11) == HIGH) {
  if (digitalRead (9) == HIGH){
    if (digitalRead (12) == HIGH){
      if (digitalRead (13) == HIGH){
        L1 = "R";
      }
    }
  }
}
if (digitalRead (10) == HIGH) {
  if (digitalRead (11) == HIGH){
    if (digitalRead (12) == HIGH){
      L1 = "S";
    }
  }
}
if (digitalRead (10) == HIGH) {
  if (digitalRead (9) == HIGH){
    if (digitalRead (12) == HIGH){
      if (digitalRead (11) == HIGH){
        L1 = "T";
      }
    }
  }
}
if (digitalRead (13) == HIGH) {
  if (digitalRead (11) == HIGH){
    if (digitalRead (8) == HIGH){
      L1 = "U";
    }
  }
}
if (digitalRead (13) == HIGH) {
  if (digitalRead (11) == HIGH){
    if (digitalRead (8) == HIGH){
      if (digitalRead (12) == HIGH){
        L1 = "V";
      }
    }
  }
}
if (digitalRead (9) == HIGH) {
  if (digitalRead (10) == HIGH){
    if (digitalRead (8) == HIGH){
      if (digitalRead (12) == HIGH){
        L1 = "W";
      }
    }
  }
}
if (digitalRead (8) == HIGH) {
  if (digitalRead (11) == HIGH){
    if (digitalRead (10) == HIGH){
      if (digitalRead (13) == HIGH){
        L1 = "X";
      }
    }
  }
}
if (digitalRead (8) == HIGH) {
  if (digitalRead (9) == HIGH){
    if (digitalRead (10) == HIGH){
      if (digitalRead (11) == HIGH){
        if (digitalRead (13) == HIGH){
          L1 = "Y";
        }
      }
    }
  }
}
if (digitalRead (8) == HIGH) {
  if (digitalRead (9) == HIGH){
    if (digitalRead (11) == HIGH){
      if (digitalRead (13) == HIGH){
        L1 = "Z";
      }
    }
  }
}
if (digitalRead (2) == HIGH) {
  L1 = " ";
}
if (digitalRead (3) == HIGH) {
  String palabra = L1+L2+L3;
  Serial.println(L1);
  digitalWrite(6, HIGH);
  digitalWrite(5, HIGH);
  delay(1000);
  digitalWrite(6, LOW);
  delay(900);
  digitalWrite(5, LOW);
  L1 = " ";
}
if (Serial.available() > 0) {
  //leemos la opción enviada
  lectura = Serial.read();
  if (lectura == ' ') {
    digitalWrite(14, LOW);
    digitalWrite(15, LOW);
    digitalWrite(16, LOW);
    digitalWrite(17, LOW);
    digitalWrite(18, LOW);
    digitalWrite(19, LOW);
    Serial.println(" ");
    delay(1000);
  }
}
if (lectura == 'A') {
  digitalWrite(14, HIGH);
  digitalWrite(15, LOW);
  digitalWrite(16, LOW);
  digitalWrite(17, LOW);
  digitalWrite(18, LOW);
  digitalWrite(19, LOW);
  Serial.println("A");
  delay(1000);
}
if (lectura == 'B') {
  digitalWrite(14, HIGH);
  digitalWrite(15, HIGH);
  digitalWrite(16, LOW);
  digitalWrite(17, LOW);
  digitalWrite(18, LOW);
  digitalWrite(19, LOW);
  Serial.println("B");
  delay(1000);
}
if (lectura == 'C')
{
  digitalWrite(14, HIGH);
  digitalWrite(15, LOW);
  digitalWrite(16, LOW);
  digitalWrite(17, HIGH);
  digitalWrite(18, LOW);
  digitalWrite(19, LOW);
  Serial.println("C");
  delay(1000);
}
if (lectura == 'D')
{
  digitalWrite(14, HIGH);
  digitalWrite(15, LOW);
  digitalWrite(16, LOW);
  digitalWrite(17, HIGH);
  digitalWrite(18, HIGH);
  digitalWrite(19, LOW);
  Serial.println("D");
  delay(1000);
}
if (lectura == 'E')
{
  digitalWrite(14, HIGH);
  digitalWrite(15, LOW);
  digitalWrite(16, LOW);
  digitalWrite(17, LOW);
  digitalWrite(18, HIGH);
  digitalWrite(19, LOW);
  Serial.println("E");
  delay(1000);
}
if (lectura == 'F')
{
  digitalWrite(14, HIGH);
  digitalWrite(15, HIGH);
  digitalWrite(16, LOW);
  digitalWrite(17, HIGH);
  digitalWrite(18, LOW);
  digitalWrite(19, LOW);
  Serial.println("F");
  delay(1000);
}
if (lectura == 'G')

```



```

digitalWrite(16, HIGH);
digitalWrite(17, HIGH);
digitalWrite(18, LOW);
digitalWrite(19, HIGH);
Serial.println("X");
delay(1000);
}
if (lectura == 'Y')
{
digitalWrite(14, HIGH);
digitalWrite(15, LOW);
digitalWrite(16, HIGH);
digitalWrite(17, HIGH);
digitalWrite(18, HIGH);
digitalWrite(19, HIGH);
Serial.println("Y");
delay(1000);
}
if (lectura == 'Z')
{
digitalWrite(14, HIGH);
digitalWrite(15, LOW);
digitalWrite(16, HIGH);
digitalWrite(17, LOW);
digitalWrite(18, HIGH);
digitalWrite(19, HIGH);
Serial.println("Z");
delay(1000);
}
// PRUEBAS DE LA MATRIZ
BRAILLE
if (lectura == '1') {
digitalWrite(14, HIGH);
digitalWrite(15, LOW);
digitalWrite(16, LOW);
digitalWrite(17, LOW);
digitalWrite(18, LOW);
digitalWrite(19, LOW);
Serial.println("1");
delay(1000);
}
}
if (lectura == '2') {
digitalWrite(14, LOW);
digitalWrite(15, HIGH);
digitalWrite(16, LOW);
digitalWrite(17, LOW);
digitalWrite(18, LOW);
digitalWrite(19, LOW);
Serial.println("2");
delay(1000);
}
if (lectura == '3') {
digitalWrite(14, LOW);
digitalWrite(15, LOW);
digitalWrite(16, HIGH);
digitalWrite(17, LOW);
digitalWrite(18, LOW);
digitalWrite(19, LOW);
Serial.println("3");
delay(1000);
}
if (lectura == '4') {
digitalWrite(14, LOW);
digitalWrite(15, LOW);
digitalWrite(16, LOW);
digitalWrite(17, HIGH);
digitalWrite(18, LOW);
digitalWrite(19, LOW);
Serial.println("4");
delay(1000);
}
if (lectura == '5') {
digitalWrite(14, LOW);
digitalWrite(15, LOW);
digitalWrite(16, LOW);
digitalWrite(17, LOW);
digitalWrite(18, HIGH);
digitalWrite(19, LOW);
Serial.println("5");
delay(1000);
}
if (lectura == '6') {
digitalWrite(14, LOW);
digitalWrite(15, LOW);
digitalWrite(16, LOW);
digitalWrite(17, LOW);
digitalWrite(18, LOW);
digitalWrite(19, HIGH);
Serial.println("6");
delay(1000);
}
if (lectura == '+') {
digitalWrite(14, HIGH);
digitalWrite(15, HIGH);
digitalWrite(16, HIGH);
digitalWrite(17, HIGH);
digitalWrite(18, HIGH);
digitalWrite(19, HIGH);
Serial.println("+");
delay(1000);
}
}
}
}

```