

# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**



**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN**

**“DISEÑO DE UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PARA EL APRENDIZAJE DE LA  
LECTURA Y ESCRITURA DEL SISTEMA BRAILLE CAPAZ DE REPRESENTAR  
CARACTERES EN SÍMBOLOS GENERADORES”**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN**

**AUTOR: JEFFERSON STALIN COYAGO TUTILLO**

**DIRECTOR: MSC. CARLOS ALBERTO VÁSQUEZ AYALA**

**IBARRA – ECUADOR**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA  
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

En cumplimiento del Art.144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

<b>DATOS DE CONTACTO</b>	
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD</b>	100417448-6
<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	Coyago Tutillo Jefferson Stalin
<b>DIRECCIÓN</b>	Cayambe, calle C1 y L6
<b>E-MAIL</b>	jscoyagot@utn.edu.ec
<b>TELÉFONO MÓVIL</b>	0984286907

<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TÍTULO</b>	DISEÑO DE UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PARA EL APRENDIZAJE DE LA LECTURA Y ESCRITURA DEL SISTEMA BRAILLE CAPAZ DE REPRESENTAR CARACTERES EN SÍMBOLOS GENERADORES

<b>AUTOR</b>	Coyago Tutillo Jefferson Stalin
<b>FECHA</b>	29 de junio del 2021
<b>PROGRAMA</b>	Pregrado
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA</b>	Ingeniero en Electrónica y Redes de Comunicación
<b>DIRECTOR</b>	Ing. Carlos Vásquez

## 2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 6 días del mes de julio de 2021

EL AUTOR

.....  


Jefferson Stalin Coyago Tutillo

CI: 1004174486



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

## **CERTIFICACIÓN**

INGENIERO CARLOS VÁSQUEZ, DIRECTOR DEL PRESENTE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA

Que, el presente trabajo de titulación “DISEÑO DE UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PARA EL APRENDIZAJE DE LA LECTURA Y ESCRITURA DEL SISTEMA BRAILLE CAPAZ DE REPRESENTAR CARACTERES EN SÍMBOLOS GENERADORES” Ha sido desarrollado por el señor Coyago Tutillo Jefferson Stalin bajo mi supervisión.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

CARLOS  
ALBERTO  
VASQUEZ AYALA

Firmado digitalmente por  
CARLOS ALBERTO VASQUEZ  
AYALA  
Fecha: 2021.06.28 15:49:14  
-05'00'

Ing. Carlos Alberto Vásquez, MsC

## **DEDICATORIA**

*A Dios quien me dio la vida y apoyo durante todo este camino universitario. A mi madre María Piedad Tutillo que siempre tuvo paciencia y me aconsejó cuando más lo necesitaba. A mi padre Marcelo Coyago quien me enseñó con su ejemplo a ser responsable y enfrentar los problemas por más difíciles que parezcan. A mis hermanos, abuelos y tíos quienes me ofrecieron el amor y calidez de la familia que amo.*

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios por permitir en primera instancia mi ingreso a la Universidad, por cuidar de mi salud en todos estos años, por darme fuerzas cuando decaigo y ponerme pruebas que forjan mi carácter.*

*A mis padres por darme el sustento, apoyarme y estar presentes en cada momento importante de mi vida. Gracias por educarme desde muy chico con amor, con reglas, libertades, pero sobre todo motivación constante para alcanzar lo que anhelo.*

*A la Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, su personal docente y administrativo, a mi director de tesis Ingeniero Carlos Vásquez por su colaboración y ayuda para la culminación de este trabajo. A todos los docentes de los que recibí experiencias y conocimientos.*

*A mi familia, amigos, y a todas esas personas que estuvieron apoyándome todo este tiempo.*

## **RESUMEN**

El presente proyecto consiste en el diseño y construcción de un prototipo electrónico que sirva de apoyo en el proceso de enseñanza aprendizaje del sistema braille. El dispositivo cuenta con un módulo de lectura que representa caracteres braille solicitados por el usuario en puntos tangibles, un módulo de escritura en el que se pueden ingresar caracteres braille, además de un sintetizador de voz que sirve para la comunicación con el usuario.

El propósito de este proyecto es ofrecer una herramienta tecnológica que permita instruir tanto a personas no videntes como a personas que quieran aprender esta forma de comunicación, en el conocimiento del alfabeto, números, palabras y frases cortas en código braille de una manera sencilla.

El proyecto utiliza solenoides para formar los puntos en relieve, interruptores para el ingreso de datos, un microcontrolador que procesa la información, el módulo bluetooth para la comunicación con un dispositivo Android en el que se encuentra el sintetizador de voz y una aplicación en el dispositivo móvil.

El capítulo uno incluye la problemática de la cual surge la necesidad de este proyecto además de los objetivos que se buscan. En el capítulo dos se encuentra toda la documentación teórica de los componentes, el sistema braille y tecnologías utilizadas. En el capítulo tres se explica el desarrollo experimental utilizando como metodología el modelo en V de cuatro niveles. En el capítulo cuatro se encuentra documentada la construcción del prototipo. Finalmente, el capítulo cinco recopila información de las pruebas de funcionamiento.

## **ABSTRACT**

This project consists of the design and construction of a prototype of an electronic device that supports the teaching-learning process of the Braille system.

The device has a reading module that represents braille characters requested by the user in touchable points, a writing module in which you can enter braille characters, plus a speech synthesizer that is used for communication with the user.

The purpose of this project is to offer a technological tool that instructs both blind people and people who want to learn this way of communication, in the knowledge of the alphabet, numbers, words, and short phrases in braille code in a simple way.

The project uses solenoids to form the raised points, switches for data entry, a microcontroller that processes the information, the module Bluetooth for communication with an Android device in which the speech synthesizer, and an application on the mobile device.

Chapter one includes the issues from which the need for this issue arises. project in addition to the objectives sought. In the second chapter are the theoretical documentation of the components, the braille system, and the technologies used.

In the third chapter, the experimental development is explained using as methodology the four-tier V model. Chapter four documents the construction of the prototype. Finally, chapter five collects information on the functionality test



## Índice General

Índice General.....	i
Índice De Figuras.....	vi
Índice De Tablas.....	x
Capitulo I. Antecedentes.....	1
1.1. Tema.....	1
1.2. Problema.....	1
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo General.....	3
1.3.2. Objetivos Específicos.....	3
1.4. Alcance.....	3
1.5. Justificación.....	4
Capítulo II. Marco Teórico.....	6
2.1. Introducción.....	6
2.2. Discapacidad Visual.....	6
2.2.1. Definición De Discapacidad Visual.....	6
2.2.2. Tipos De Discapacidad Visual.....	7
2.3. La Educación De Las Personas Con Discapacidad Visual.....	7
2.4. Sistema Braille.....	8
2.4.1. Signo Generador.....	8
2.4.2. Series Braille.....	10
2.4.3. Lectura En Braille.....	11
2.4.4. Escritura En Braille.....	12
2.4.5. Aprendizaje De La Lecto-Escritura En Braille.....	12
2.4.6. Herramientas Para La Enseñanza Del Sistema Braille.....	13
2.4.7. Braille de ocho puntos.....	15

2.5.	Metodologías Para La Enseñanza Aprendizaje Del Sistema Braille.....	16
2.5.1.	Braille En Personas Adultas .....	16
2.5.2.	Método De Enseñanza: Bliseo.....	17
2.5.3.	Método De Enseñanza: Pérgamo.....	17
2.5.4.	Método De Enseñanza: Alborada .....	18
2.5.5.	Método De Enseñanza: Tomillo .....	18
2.6.	Aspectos Didácticos De La Enseñanza Del Sistema Braille.....	18
2.6.1.	Aprendizaje Táctil .....	19
2.6.2.	Aprendizaje Auditivo .....	19
2.7.	Descripción Componentes Electrónicos Y Tecnologías .....	19
2.7.1.	Microcontroladores.....	19
2.7.2.	Solenoides.....	21
2.7.3.	Transistores.....	22
2.7.4.	Reconocimiento de Voz.....	25
2.7.5.	Sistemas CNC.....	26
2.7.6.	Entornos de Desarrollo Integrado IDE .....	27
2.7.7.	Software CAD .....	28
2.7.8.	Comunicación Serial.....	29
3.	Capítulo III: Desarrollo Experimental.....	31
3.1.	Metodología .....	31
3.2.	Modelo En V .....	32
3.3.	Análisis.....	33
3.3.1.	Situación Actual .....	33
3.3.1.1.	Observación Directa.....	34
3.3.1.2.	Entrevistas.....	35

3.4.	Requerimientos.....	36
3.4.1.	Stakeholders.....	36
3.4.2.	Atributos de los requerimientos.....	37
	3.4.2.1. Nomenclatura para los requerimientos. ....	37
3.4.3.	Requerimientos de Stakeholders .....	38
3.4.4.	Requerimientos del sistema .....	39
3.4.5.	Requerimientos de Arquitectura.....	42
3.5.	Modelamiento Del Prototipo.....	43
3.5.1.	Descripción General del sistema .....	43
3.5.1.1.	Restricciones.....	44
3.5.1.2.	Riesgos.....	45
3.5.2.	Diagrama de bloques .....	45
3.5.3.	Módulo de lectura.....	46
3.5.3.1.	Primer prototipo símbolo generador.....	46
3.5.3.2.	Segundo prototipo símbolo generador.....	48
3.5.3.3.	Elección de hardware.....	50
3.5.4.	Módulo de escritura.....	51
3.5.4.1.	Tamaño y forma de la tecla. ....	51
3.5.4.2.	Elección de Hardware.....	53
3.5.5.	Módulo sintetizador de voz. ....	54
3.5.5.1.	Elección de hardware y software .....	55
3.5.6.	Módulo de comunicación .....	56
3.5.6.1.	Elección de hardware.....	57
3.5.7.	Elección del Sistema Embebido .....	58
3.5.8.	Sistema Eléctrico .....	59

3.5.9.	Resumen hardware y software escogido .....	61
3.5.10.	Diagramas de conexión .....	62
3.5.10.1.	Módulo de lectura.....	64
3.5.10.2.	Módulo de escritura.....	66
3.5.10.3.	Módulo de comunicación y sintetizador de voz .....	68
3.6.	Diseño Lógico .....	68
3.6.1.	Menú principal.....	69
3.6.2.	Proceso: solicitar un carácter.....	70
3.6.3.	Proceso: ejercicios de escritura.....	71
Capítulo IV.	Construcción .....	72
4.1.	Esquema Electrónico Del Sistema .....	72
4.2.	Diseño Y Construcción De Las Tarjetas PCB .....	74
4.3.	Desarrollo De La Aplicación Android .....	79
4.4.	Construcción De La Carcasa .....	81
4.5.	Ensamblaje Y Conexión.....	84
4.6.	Costo del Prototipo.....	90
Capítulo V.	Pruebas De Funcionamiento.....	92
5.1.	Descripción De Pruebas A Realizar .....	92
5.2.	Pruebas De Especificaciones.....	93
5.3.	Pruebas De Funcionalidad.....	94
5.3.1.	Pruebas del módulo de lectura.....	94
5.3.2.	Pruebas del módulo de escritura .....	96
5.4.	Pruebas De Diseño Lógico Y Estructura.....	97
5.5.	Pruebas De Implementación.....	100
Conclusiones .....		105

Recomendaciones .....	106
Bibliografía .....	107
Anexos .....	111

## Índice De Figuras

Figura 1: Signo Generador básico del sistema Braille.....	9
Figura 2: Separaciones entre los puntos y signos del código braille .....	9
Figura 3: letras, números y símbolos según la codificación braille.....	10
Figura 4: Escritura en braille con regleta y punzón .....	12
Figura 5: Regleta y punzón braille.....	13
Figura 6: Dymo braille.....	14
Figura 7: Máquina Perkins.....	14
Figura 8: Muñeco Brailin.....	15
Figura 9: Teclado braille que usa celda de 8 puntos .....	16
Figura 10: Algunos microcontroladores .....	20
Figura 11: Componentes típicos de un microcontrolador.....	20
Figura 12: Funcionamiento de un compilador .....	21
Figura 13: Solenoide comercial 5v .....	21
Figura 14: Tipos de Solenoides.....	22
Figura 15: Simbología de transistores NPN y PNP .....	23
Figura 16: Símbolo de transistores MOSFET.....	24
Figura 17: Representación de la zona de corte y saturación de un MOSFET .....	25
Figura 18: Plotter Fresadora Router CNC .....	26
Figura 19: Interfaz IDE de Arduino.....	28
Figura 20: Modelado de una pieza en SolidWorks .....	29
Figura 21: Trama de comunicación serial.....	30
Figura 22: Niveles del modelo en V .....	32
Figura 23: Diagrama de Bloques del Sistema.....	46
Figura 24: Primer prototipo de símbolo generador.....	47
Figura 25: Medición de ruido primer prototipo de símbolo generador .....	48

Figura 26: Segundo Prototipo de símbolo generador .....	49
Figura 27: símbolo generador de escritura construido con pulsadores.....	52
Figura 28: Símbolo generador de lectura construido con interruptores .....	53
Figura 29: Diagrama de conexión de un MOSFET como interruptor .....	63
Figura 30: Cálculo resistencia Rg para MOSFET .....	63
Figura 31: Disposición de pines del CI 74ls165 .....	64
Figura 32: Conexión de Solenoide a Arduino.....	65
Figura 33: Conexión de un símbolo generador de escritura .....	66
Figura 34: Configuración de CI 74165 en cascada.....	67
Figura 35: Conexión módulo HC-05 con Arduino Mega .....	68
Figura 36: Diagrama de flujo del menú principal.....	69
Figura 37: Diagrama de flujo proceso: solicitar un carácter.....	70
Figura 38: Diagrama de flujo proceso: ejercicios de escritura .....	71
Figura 39: Proyección del prototipo a construir .....	72
Figura 40: Diagrama de circuito del prototipo.....	73
Figura 41: Diseño tarjeta PCB del módulo de lectura .....	74
Figura 42: Distribución de componentes en el PCB del módulo de lectura .....	74
Figura 43: Pedido de PCB en la plataforma jlcpcb.....	75
Figura 44: Tarjeta del módulo de lectura construida con jlcpcb.....	76
Figura 45: Tarjeta del módulo de escritura con sus componentes soldados .....	76
Figura 46: Diseño PCB del módulo de escritura .....	77
Figura 47: Diseño PCB del módulo de escritura-segunda tarjeta .....	77
Figura 48: Proceso de construcción de la tarjeta para el módulo de escritura .....	78
Figura 49: Tarjeta del módulo de escritura con sus componentes soldados .....	78
Figura 50: Tarjeta PCB para conexión de módulo HC-05 e IC 74595 .....	79
Figura 51: Tarjeta PCB para conexión de módulo HC-05 e IC 74595 con componentes soldados.....	79

Figura 52: Vista de la aplicación Android .....	80
Figura 53: Carcasa rectangular y sus dimensiones .....	81
Figura 54: Tapa de la carcasa.....	82
Figura 55: Pintado de la carcasa .....	82
Figura 56: Pintado de la tapa de la carcasa .....	83
Figura 57: Carcasa de la fuente pintada.....	83
Figura 58: Ensamblaje de la carcasa en la fuente .....	84
Figura 59: Atornillado de los solenoides a la tapa de la carcasa .....	84
Figura 60: Unión placas módulo de lectura y placa CI74595 Y HC-05 .....	85
Figura 61: Módulo de escritura atornillado en la tapa de la carcasa.....	85
Figura 62: Pines para conexión de la placa del módulo de escritura.....	86
Figura 63: Pines de conexión de la tarjeta que contiene CI 74595 .....	87
Figura 64: Pines de conexión del módulo de lectura .....	88
Figura 65: Voltaje en cables de la fuente .....	88
Figura 66: Conexión de la fuente con el prototipo .....	89
Figura 67: Vista interna del prototipo.....	89
Figura 68: Prototipo construido vista frontal .....	90
Figura 69: Adecuación de forma circular en pulsadores .....	94
Figura 70: Prueba de activación de puntos en el módulo de lectura.....	95
Figura 71: Código para realizar pruebas en el módulo de lectura .....	95
Figura 72: Código para realizar pruebas en el módulo de escritura .....	96
Figura 73: Lectura de pines del módulo de escritura utilizando comunicación serial.....	97
Figura 74: Resultado de pruebas de voz a texto en la aplicación Android .....	98
Figura 75: Medición de ruido ambiental durante las pruebas de funcionamiento .....	99
Figura 76: Consumo de memoria flash y dinámica del microcontrolador.....	99
Figura 77: Usuario 1 utilizando el prototipo.....	101



Figura 78: Usuario 2 utilizando el prototipo.....	102
Figura 79: Resultados prueba escritura con usuarios.....	102
Figura 80: Resultados de la prueba de reconocimiento de caracteres .....	103
Figura 81: Resultados prueba de velocidad de escritura.....	104

## Índice De Tablas

Tabla 1: Series Braille.....	10
Tabla 2: Lista de Stakeholders.....	37
Tabla 3: Abreviaturas para los requerimientos .....	38
Tabla 4: Requerimientos de Stakeholders.....	38
Tabla 5: Actividades realizadas para definir requerimientos de sistema.....	40
Tabla 6: Requerimientos de Sistema.....	40
Tabla 7: Requerimientos de Arquitectura .....	42
Tabla 8: Valoración para el hardware del módulo de lectura .....	50
Tabla 9: Valoración para el hardware del módulo de escritura .....	53
Tabla 10: Análisis para la elección del módulo sintetizador de voz.....	54
Tabla 11: Valoración para el hardware del módulo sintetizador de voz.....	55
Tabla 12: Características módulos ESP8266 y HC-05 .....	56
Tabla 13: Valoración para el hardware del módulo e comunicación.....	57
Tabla 14: Características Arduino y Raspberry Pi.....	58
Tabla 15: Valoración de las opciones de sistema embebido.....	58
Tabla 16: Potencia de los módulos y sistemas.....	59
Tabla 17: Valoración opciones para fuente de poder.....	60
Tabla 18: Características fuente Altek 750w .....	61
Tabla 19: Resumen Hardware y Software escogido .....	61
Tabla 20: Disposición de pines de Arduino para conexión con los solenoides.....	65
Tabla 21: Disposición de pines en Arduino para los botones de selección.....	66
Tabla 22: Disposición de pines de Arduino para conexión con CI 75ls165 .....	67
Tabla 23: Descripción de funcionamiento del prototipo.....	68
Tabla 24: Funciones de la aplicación Android .....	80
Tabla 25: Conexión PCB módulo de lectura con Arduino .....	86

Tabla 26: Conexión placa CI 74595 con Arduino .....	87
Tabla 27: Tabla de costos del prototipo construido .....	90
Tabla 28: Descripción de las pruebas de funcionamiento .....	92
Tabla 29: Validación de requerimientos de Stakeholders.....	93
Tabla 30: Evaluación de dificultad de uso del prototipo .....	100

## **Capítulo I. Antecedentes**

### **1.1. Tema**

Diseño de un dispositivo electrónico para el aprendizaje de la lectura y escritura del sistema braille capaz de representar caracteres en símbolos generadores

### **1.2. Problema**

En 1878, en el Congreso Internacional celebrado en París, se decide promover el lenguaje braille como método universal al considerarlo el mejor sistema de lectoescritura para personas con discapacidad visual. (Mobarak, 1994)

En el Ecuador la atención a personas con esta discapacidad ha sido de baja cobertura y deficiente calidad. (Cazar, 2001) Refiriéndose al tratamiento de discapacidades en el Ecuador afirma que: “El crecimiento fue en todas las áreas, pero llevado adelante en forma desordenada, lo que originó la duplicidad de acciones, la dispersión de recursos y una total descoordinación y desarticulación de las acciones”.

El cambio sustancial ocurre con la ejecución del Plan Nacional de Discapacidades y el establecimiento en el Reglamento a la Ley de las competencias, responsabilidades y atribuciones que tienen las distintas instituciones del sector público y privado en la prevención y atención dirigida a personas con discapacidad según el informe de rendición de cuentas del CONADIS del 2016

Entre la ayuda técnica por parte del gobierno para personas con discapacidad visual tenemos la entrega de computadores con lector NVDA, regletas, punzones y bastones además de textos impresos en braille según el Informe del 2017 de la Misión Solidaria Manuela Espejo, sin embargo, no se cuenta con algún sistema tecnológico que enseñe el lenguaje braille debido

a esto para aprender a leer y escribir en braille se necesita de una persona que ya sepa hacerlo y que pueda transferir ese conocimiento.

Pocos tienen acceso a dispositivos tecnológicos desarrollados para personas con discapacidad visual (Muñoz, 2010), y aun así estos dispositivos son muy costosos. El Estado, personas y empresas se encuentran desarrollando tecnología y herramientas nuevas para personas con discapacidad visual, pero muchas de estas propuestas no han sido desarrolladas en su totalidad o son de muy difícil acceso

La Restricción de participación para las personas con discapacidad visual es un problema que afecta su aprendizaje, comunicación y las relaciones interpersonales una manera de luchar contra esto es desarrollando métodos tecnológicos para superar la limitación visual, muchas herramientas tecnológicas no se hacen tomando en cuenta un diseño universal. “Es entonces cuando se puede producir la fractura digital caracterizada por la inaccesibilidad a la tecnología por no haber sido diseñada pensando en todos, o por las dificultades de acceso a las TIC debido a déficit en la educación y la cultura o por la desigualdad de acceso entre países ricos y en vías de desarrollo” (Muñoz, 2010)

Por lo expuesto anteriormente se ha visto necesario elaborar un dispositivo capaz de educar a las personas en la interpretación del lenguaje braille, con las herramientas tecnológicas actuales es posible diseñar un sistema capaz de enseñar este lenguaje a personas que tengan o no discapacidad visual. Con este proyecto se pretende apoyar la autoeducación permitiéndoles aprender la lectura y escritura del abecedario, números y signos en braille, y fomentar la inclusión de sus familiares.

## **1.3. Objetivos**

### ***1.3.1. Objetivo General***

Diseñar un dispositivo electrónico para la enseñanza de la lectura y escritura del lenguaje braille capaz de representar mediante un mecanismo tangible códigos braille

### ***1.3.2. Objetivos Específicos***

- Investigar acerca de los mecanismos y tecnologías destinadas al aprendizaje del lenguaje braille
- Determinar los requerimientos operacionales del dispositivo mediante la definición de stakeholders
- Diseñar el dispositivo electrónico siguiendo la metodología del modelo en V de 4 niveles para desarrollo de proyectos de las TIC
- Elaborar un análisis de disponibilidad y costos de los componentes necesarios para la construcción del dispositivo
- Seleccionar el motor de voz más adecuado para la implementación del proyecto
- Realizar las pruebas de funcionamiento del dispositivo

## **1.4. Alcance**

El presente proyecto tiene como alcance mejorar el método de aprendizaje de lectura y escritura del sistema braille en personas con discapacidad visual que cuenten con el tercer grado de escolaridad como mínimo. Los aspectos puntuales que comprende la investigación están referidos a desarrollar un mecanismo basado en el principio de electromagnetismo para formar caracteres braille en símbolos generadores de 6 puntos y guiar al usuario en su aprendizaje mediante un motor de voz

Para el desarrollo del diseño se buscarán todas las bases teóricas necesarias, se realizará un análisis de los componentes más importantes necesarios para la construcción del dispositivo, así como las ventajas y desventajas de los mismos. Se tomará en cuenta la selección del motor de voz, por lo que se realizará el análisis de selección del software considerando la compatibilidad con el microcontrolador, su costo, su disponibilidad y su fluidez para reproducir audio.

Con el propósito de ofrecer un dispositivo que se adapte a las necesidades de las personas con discapacidad visual se realizarán pruebas de funcionamiento y análisis de aceptación en las etapas más importantes del desarrollo del proyecto involucrándose con los usuarios.

Se realizará un análisis para determinar el material y la forma de la estructura o carcasa del dispositivo de manera que no sea incómodo su uso y sean de fácil interpretación los caracteres braille generados por el dispositivo.

El costo es otro aspecto que se tomará en cuenta ya que es necesario ofrecer un dispositivo de fácil acceso económico en comparación con las soluciones similares que existen en el mercado.

## **1.5. Justificación**

La discriminación social muchas veces se origina por las restricciones de comunicación entre personas discapacitadas y no discapacitadas, pocos se preocupan realmente por buscar mecanismos para facilitar la interacción con ellos produciendo analfabetismo y exclusión laboral y social. Se han desarrollado grandes inventos para usuarios de braille durante los últimos años, lamentablemente la mayoría de los lectores en braille no tienen acceso a gran parte de esta tecnología ya sea por su disponibilidad en el país o por su elevado costo.

El Ecuador tiene 51328 registros de personas con discapacidad visual según el Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades en su informe del 2017, aproximadamente 1159 de estos registros corresponden a niños de entre 7 a 12 años que registran problemas en su alfabetización en algunos casos por la falta de profesores que conozcan lenguaje de señas o el sistema braille, limitando a las personas con discapacidad visual a realizar o compartir actividades establecidas en una sociedad.

Con este proyecto se pretende lograr un impacto positivo en la sociedad con una solución que permita eliminar la ignorancia, mejorar la educación e incentivar el interés hacia el lenguaje braille.

El presente proyecto será de bajo precio comparado con los dispositivos tecnológicos que existen en el mercado, pero sin dejar de lado la calidad en su construcción y considerando las necesidades reales de las personas con discapacidad visual.

Este proyecto también busca incentivar a estudiantes y profesionales involucrados en la electrónica para apoyar con su conocimiento en la superación de las personas más necesitadas fomentando el emprendimiento para aplicar conceptos tecnológicos y científicos en busca del bienestar de la comunidad



## **Capítulo II. Marco Teórico**

### **2.1. Introducción**

En este capítulo se tratarán conceptos relacionados a la discapacidad visual, los tipos de discapacidad visual y sus principales causas. Además, se revisará como es la educación de una persona con discapacidad visual, luego se tratarán temas referentes al lenguaje braille: los signos generadores, la forma de leer y escribir en braille y las herramientas que se utilizan para este propósito, se revisarán las metodologías existentes para aprender este lenguaje de acuerdo con las necesidades de personas con o sin la discapacidad visual considerando además aspectos didácticos que mejoren el aprendizaje. Finalmente, se describirán los componentes, tecnologías y el sistema embebido que se utilizarán para la realización del proyecto

### **2.2. Discapacidad Visual**

#### ***2.2.1. Definición De Discapacidad Visual***

En la convención de las naciones Unidas sobre los derechos de las personas con discapacidad la OMS afirma que: “Las personas con discapacidad incluyen a aquellas que tengan deficiencias físicas, mentales, intelectuales o sensoriales a largo plazo que, al interactuar con diversas barreras, puedan impedir su participación plena y efectiva en la sociedad, en igualdad de condiciones con las demás”. (OMS, Convención sobre los derechos de personas con discapacidad, 2008, pág. 4).

La deficiencia de una persona con discapacidad visual es de tipo sensorial, por lo tanto, se requieren mecanismos y soluciones para reducir las barreras entre las personas que posean esta discapacidad y el entorno para garantizar una participación plena en la sociedad.

### **2.2.2. Tipos De Discapacidad Visual**

Según (OMS, 1999) en su documento CIDDM2 referente a los grados de visión establece 4 diferentes grados de pérdida visual que son:

- Deficiencia Leve: pacientes con agudeza visual menor a 0.3, un porcentaje de visión entre el 5-24%
- Deficiencia Moderada: pacientes con agudeza visual menor a 0.3 y mayor a 0.1, un porcentaje de visión entre el 25-49%
- Deficiencia Severa: pacientes con agudeza visual entre 0.1 y 0.05, un porcentaje de visión entre el 50-95%
- Deficiencia Completa: pacientes con agudeza visual menor a 0.05, un porcentaje de visión entre el 96-100%

### **2.3. La Educación De Las Personas Con Discapacidad Visual**

La educación debe ser inclusiva al tratarse de personas con discapacidad visual, es decir ajustar métodos y estrategias educativas para facilitar la incorporación de los individuos en vez de esperar que sean ellos los que cambien para adaptarse a los modelos educativos existentes. En una educación inclusiva no debe existir barreras y cada persona posea o no la discapacidad debe ser capaz de aprender, eso demuestra la efectividad en el proceso de responder a las necesidades de todos los estudiantes en su instrucción.

“Un centro educativo debe construir un Proyecto Educativo comunitario en el que quepan todos los alumnos y alumnas y todos los miembros de la comunidad educativa y el entorno, debiendo, en consecuencia, estar impregnado en todos y cada uno de sus elementos de los principios de la educación inclusiva”. (Tomelloso, 2015, pág. 5)

## **2.4. Sistema Braille**

La escritura y lectura en braille o táctil fue desarrollada por Louis Braille, quien nació en Francia en 1809, a la edad de 3 años sufrió un accidente que le privó de la vista de uno de sus ojos y progresivamente el ojo infectado fue dañando el ojo sano, a los 10 años ingresó en el Instituto Nacional para Jóvenes ciegos de París donde conoció a Charles Barbier un oficial del ejército que desarrolló un sistema de lectura táctil de 12 puntos en relieve llamado Sonography en un inicio para fines militares. Louis Braille tomando como base el Sonography de Barbier experimentó con diferentes combinaciones hasta que consiguió una solución para, usando solo 6 puntos ser capaz de reproducir la fonética básica útil para sus compañeros invidentes. (Ruiza, Fernández, & Tamaro, 2004)

El sistema Braille consta de 63 caracteres compuestos por una combinación específica en un rectángulo con 6 puntos en relieve, estos puntos están dispuestos en 2 columnas de 3 puntos en línea sobre el papel y pueden leerse con las yemas de los dedos al pasarlas sobre el escrito, este sistema fue publicado en 1829 y aceptado como oficial por la institución des Aveugles en 1854. (Vrushabh & Dharme, 2015).

### **2.4.1. Signo Generador**

La celdilla braille también denominada cajetín braille o símbolo generador es un sistema a base de 6 puntos que pueden estar resaltados o no y que forman 64 matrices con las que se representan letras, números o signos, cada uno de estos puntos tiene su orden y numeración y se usan para referirse a ellos en procesos de aprendizaje. (Martí de León, 2009). En la figura 1 tenemos un signo generador con sus 6 puntos numerados.



Figura 1: Signo Generador básico del sistema Braille

Fuente: Martí de León (2009). Poner puntos en relieve: el braille. Recuperado de: <https://bcehricardogaribay.wordpress.com/2009/01/18/poner-puntos-en-relieve-el-braille-2/>

El código establecido por Louis Braille establece dimensiones respecto a la celda o cajetín, estas dimensiones están pensadas para facilitar el reconocimiento y la percepción de caracteres con el tacto. Están especificados el tamaño de los puntos en 1,5 mm de diámetro, los espacios entre ellos en 2,5mm, los espacios entre un signo y otro en 3,75mm y la distancia entre renglones en 5mm. En la figura 2 tenemos 4 signos generadores y las separaciones entre ellos y sus puntos.

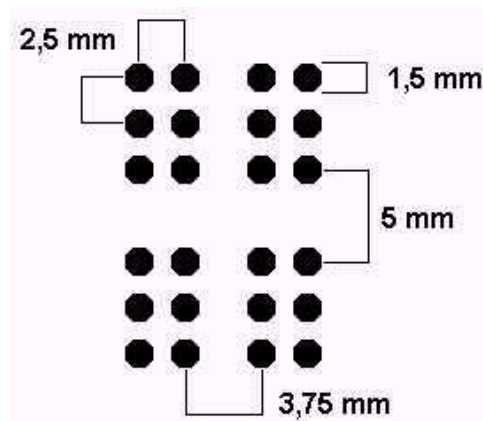


Figura 2: Separaciones entre los puntos y signos del código braille

Fuente: Martí de León (2009). Poner puntos en relieve: el braille. Recuperado de: <https://bcehricardogaribay.wordpress.com/2009/01/18/poner-puntos-en-relieve-el-braille-2/>

Dentro de cada celdilla se puede situar un conjunto de puntos en relieve en seis posiciones diferentes. Las distintas combinaciones de puntos dan lugar a diferentes letras,

pudiéndose así representar todas las letras del alfabeto, los números y también los diferentes signos de puntuación. (Huertas & Simon, 1993). En la figura 3 podemos observar los diferentes caracteres que se pueden formar mediante el código braille.




Figura 3: letras, números y símbolos según la codificación braille

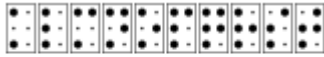
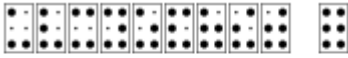
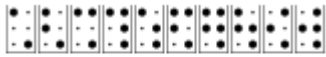
**Fuente:** Martí de León (2009). Poner puntos en relieve: el braille. Recuperado de: <https://bcehricardogaribay.wordpress.com/2009/01/18/poner-puntos-en-relieve-el-braille-2/>

#### 2.4.2. Series Braille

Para una mejor enseñanza del lenguaje Braille se establecieron series que van desde las letras que usan los 4 primeros puntos del signo generador hasta letras y caracteres más complejos en la siguiente tabla se detallan las series Braille.

Tabla 1: Series Braille

SERIES	CARACTERISTICA	LETRAS
<b>Primera</b>	se utilizan únicamente los cuatro puntos superiores (1,2,4,5) y con ellos se forman las diez primeras letras del alfabeto	 a b c d e f g h i j

<b>Segunda</b>	se forma con los puntos de la primera serie, añadiéndoles el punto número 3 y, así, obtenemos las siguientes letras	 k l m n o p q r s t
<b>Tercera</b>	se forma con los puntos de la serie 2ª, añadiendo el punto número 6	 u v x y z ç á é ú <i>signo generador</i>
<b>Cuarta</b>	son los elementos de la 1ª serie, añadiendo el punto número 6	 â ( î ô û ë ñ ü ó w
<b>Quinta</b>	son los signos de la primera serie, pero utilizando los puntos de la mitad inferior de la celdilla o cajetín. Así, conseguimos los signos de puntuación	

Fuente: Giesteira, Adriano. (2019). Procesos de decodificación de la partitura braille.

### 2.4.3. Lectura En Braille

El código braille es un código alfabético. Es analítico/ fonético. Al igual que a un grafema en tinta le corresponde un fonema, a cada combinación de puntos determinada le corresponde un fonema o signo. El proceso, por tanto, consiste en partir de una configuración de un punto o varios puntos a la que le corresponde un fonema. (Comisión Braille Española, 2014)

Es necesario tener en cuenta que la lectura se realiza de izquierda a derecha puesto que es el proceso contrario a la escritura.

#### **2.4.4. Escritura En Braille**

La escritura en sí misma, de letras, palabras, frases, párrafos, puede iniciarse paralelamente o no a la lectura, en función de las posibilidades de cada alumno. Para la escritura en braille se utiliza tradicionalmente una regleta y un punzón que sirven para marcar los símbolos generadores en una hoja de papel, este proceso se lleva a cabo de derecha a izquierda puesto que al escribir algo en la hoja y darle la vuelta las matrices formadas quedan en disposición para la lectura de izquierda a derecha.

Por tanto, no necesariamente ha de ser un proceso paralelo de aprendizaje de la lectura y la escritura. Los autores que sugieren esta propuesta (simultanear el proceso de lectura y escritura) lo hacen desde la consideración de que resulta más motivador y de que ambos procesos se refuerzan el uno al otro. (Comisión Braille Española, 2014)

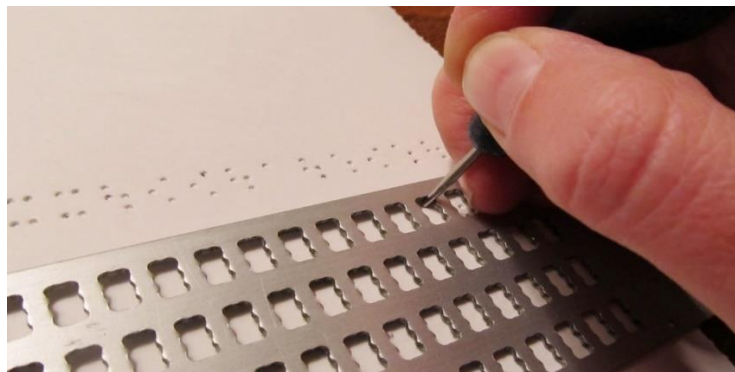


Figura 4: Escritura en braille con regleta y punzón

Fuente: Secretaría de Cultura Querétaro México. (2017). Taller de lecto-escritura en braille. Recuperado de: <http://culturaqueretaro.gob.mx/iqca/sitio/Eventoscontroller/evento/359>

#### **2.4.5. Aprendizaje De La Lecto-Escritura En Braille**

La experiencia de cientos de profesionales en las últimas décadas, ahora avalada por los estudios de la neuro didáctica, nos dice que el aprendizaje significativo, el que sirve para la vida, el que se mantiene en el tiempo, se aprende desde el deseo. Por tanto, es preciso conseguir

en el alumno la implicación emocional dirigida tanto hacia el objeto del aprendizaje (el braille) como hacia la persona que guía su aprendizaje. (Comisión Braille Española, 2014)

#### **2.4.6. Herramientas Para La Enseñanza Del Sistema Braille**

La utilización de recursos educativos y ayudas técnicas específicas facilitan el seguimiento de la actividad cotidiana de un alumno con ceguera o déficit visual. Para la escritura manual se utiliza típicamente regleta y punzón, máquinas Perkins y Eurotipez para escritura mecánica y diversos juguetes contruidos por compañías o por los propios instructores para enseñanza a niños.

La regleta y punzón braille son los más utilizados, su uso consiste en colocar una hoja de papel entre las caras de la regleta y formar los símbolos generadores presionando con el punzón como si fuese un bolígrafo, los caracteres que forma son tan pequeños que se pueden percibir con dos yemas de los dedos, aunque se suele utilizar ambas manos: una para seguir la línea y la otra para sentir los puntos en relieve. En la figura 5 tenemos una regleta y punzón.

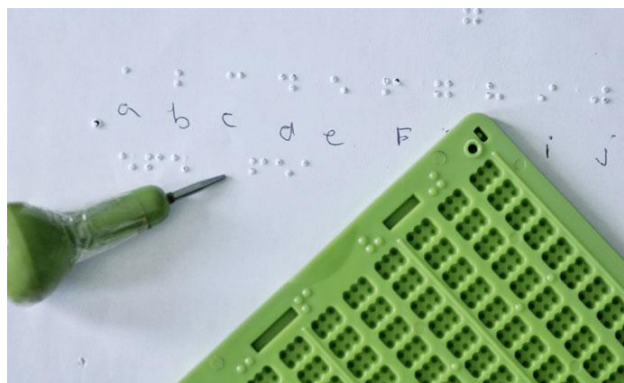


Figura 5: Regleta y punzón braille

Fuente: El Impulso. (2013). Escuela Luis Braille enciende una luz a la discapacidad visual. Recuperado de: <https://www.elimpulso.com/2013/03/04/escuela-luis-braille-enciende-una-luz-a-la-discapacidad-visual/>

El Dymo braille por otro lado es un tipo de etiquetador de tamaño reducido en el que va imprimiendo en el papel símbolo a símbolo, utiliza un rollo de papel tipo cinta de 12mm y una ruleta con los caracteres braille, como limitación solo se puede escribir en una línea



continua y no se alcanzan velocidades de escritura mayores a la escritura con regleta y punzón. En la figura 6 tenemos un Dymo o etiquetador braille comercial.



Figura 6: Dymo braille

Fuente: TECNOAYUDAS. (2015). Herramientas para la escritura braille. Recuperado de: <http://tecnoayudas.com/productos-discapacidad-visual/itemlist/category/151-herramientas-braille-y-de-apoyo-educativo>

Para la escritura a máquina: Perkins y Eurotipex. Son máquinas similares a una máquina de escribir, cuentan con un teclado en el que se escribe tal y como se lee es decir de izquierda a derecha, son ruidosas y de difícil adquisición por su disponibilidad en el mercado y su costo, utilizan un papel especial parecido a la cartulina y se puede alcanzar una velocidad de escritura mayor que con el uso de regleta y punzón. En la figura 7 se presenta una máquina Perkins típica.



Figura 7: Máquina Perkins

Fuente: Martí de León (2009). Poner puntos en relieve: el braille. Recuperado de: <https://bcehricardogaribay.wordpress.com/2009/01/18/poner-puntos-en-relieve-el-braille-2/>

Braillin es un muñeco de juguete para niños que tiene un símbolo generador con botones retráctiles como puntos en su centro, el niño puede interactuar presionando los botones y formando así caracteres en braille. Además de esta herramienta existen otras desarrolladas para niños pero que se basan en el mismo principio. En la figura siguiente tenemos un muñeco Braillin comercial.



Figura 8: Muñeco Braillin

Fuente: Juguetes Universales (2019). Braillin. Recuperado de:  
<https://www.juguetesuniversales.com/productos/braillin/>

#### **2.4.7. Braille de ocho puntos**

También conocido como braille computarizado o braille informático es una adecuación al signo generador debido a la llegada de sistemas informáticos que requerían más de 64 símbolos diferentes por esto se hizo necesario añadir dos puntos más a los 6 adicionales. El nuevo signo con dos filas de 4 puntos genera una combinación de 256 signos diferentes lo que abrió la posibilidad de imprimir documentos, representar operaciones matemáticas complejas, además de la fabricación de impresoras braille que las instituciones pueden adquirir para uso colectivo. (Fernández, 2017). En la figura 9 tenemos un dispositivo electrónico que utiliza celdas braille de 8 puntos.



Figura 9: Teclado braille que usa celda de 8 puntos

Fuente: Tifloproductos CR. (2019). Braille y signos táctiles. Recuperado de: <https://tifloproductoscr.com/producto/anotador-braille-brailiant-bi14/>

## **2.5. Metodologías Para La Enseñanza Aprendizaje Del Sistema Braille**

El método por utilizar debe adaptarse a las necesidades de los alumnos que desean aprender el código, a los recursos y al entorno que los rodea, primero se debe tener claro hacia quien va dirigida la enseñanza del lenguaje para este propósito se desarrollaron diversos métodos con características propias de cada uno que son utilizados ampliamente en el proceso educativo.

### **2.5.1. Braille En Personas Adultas**

Es importante recordar que la persona que aprende braille en edad adulta normalmente lo hace por una ceguera sobrevenida, pero también puede darse el caso de una persona adulta sin discapacidad que quiera aprender el lenguaje, en cualquier caso, al enseñar este sistema a una persona adulta contamos con que tienen mejor desarrollado el sentido del tacto si lo comparamos con un niño y es probable que además ya haya pasado por el proceso de alfabetización.

### **2.5.2. Método De Enseñanza: Bliseo**

Este método, en su última edición del año 1999, está diseñado para adultos ciegos alfabetizados, por lo que, una vez superada la fase inicial de habituación al tacto, el primer paso empieza profundizando en el conocimiento especial del signo generador y sigue con la introducción de letras de la primera a la tercera serie añadiendo el punto 3 en ésta última y finalmente las letras faltantes incluyendo el punto 6. (Castañeda & Maldonado, 2009).

### **2.5.3. Método De Enseñanza: Pérgamo**

Es un método publicado en 1993 y desarrollado por José Astasio Toledo, Plácido Gonzales e Ismael Martínez, pensado para personas adultas que por diversas razones nunca asistieron a la escuela o la abandonaron prematuramente. Se establecen las siguientes fases en la presentación de las diferentes formas braille:

- Presentación inicial del todo (signo generador) como forma completa y referencial, a partir de la cual han de construirse, por análisis, el resto de las formas.
- Descomposición progresiva del todo en sus partes, hasta llegar finalmente al punto.
- Por último, el procedimiento analítico-sintético culmina en su fase re compositiva: partir de elementos significativamente simples (letras, sílabas) hasta llegar a unidades más complejas (palabras, frases).

Puntos fuertes del método: Se trata de un método muy sistemático y adecuado no solo para enseñar braille a adultos, sino para alfabetizarlos. (Astasio, Gonzáles, & Martínez, 1993)

#### **2.5.4. Método De Enseñanza: Alborada**

Es un método desarrollado por Blas Garcés que utiliza una cartilla para la lectura y fue por mucho tiempo una herramienta para las primeras transcripciones textuales en material didáctico para niños, es bastante motivador para alumnos de edades adultas, desde el primer día que se inicie el método es posible leer palabras e incluso frases con sentido. Esta técnica es muy fácil de usar, presenta en un orden lógico, utiliza las letras del abecedario, signos de admiración e interrogación, algunos signos de puntuación, vocales acentuadas. (Comisión Braille Española, 2014)

#### **2.5.5. Método De Enseñanza: Tomillo**

Es un método para trabajar directamente el braille, dando por supuesto que las etapas previas de habilidades básicas y pre-braille están superadas; por tanto, está pensado fundamentalmente para niños de 5 y 6 años, se utilizan palabras y frases cortas con sentido y estructura lingüística simple, se empieza por ejercicios que involucran letras que se perciben fácilmente al tacto por estar formadas de 3 puntos o menos evitando siempre caracteres simétricos. (Comisión Braille Española, 2014).

### **2.6. Aspectos Didácticos De La Enseñanza Del Sistema Braille**

Es importante analizar los principios didácticos relacionados con el entorno que facilitan el aprendizaje del lenguaje braille para identificar las habilidades que deben ser potenciadas para lograr conocimientos y destrezas útiles en el proceso de educación y desarrollo del lenguaje.

### **2.6.1. *Aprendizaje Táctil***

Leone, Wasserman, Sadato & Hallett (2006) realizaron un estudio con alumnos ciegos en el que se concluye que nueve semanas sin leer braille afectan negativamente a las habilidades en la lectura braille, pero que, al retomar la actividad, se readquiere la capacidad de lectura al tiempo que se regenera la actividad neuronal. Por lo que la constante exposición al aprendizaje táctil es un aspecto didáctico que ciertamente mejora la adquisición de habilidades para aprender este lenguaje

### **2.6.2. *Aprendizaje Auditivo***

El aprendizaje auditivo mejora el aprendizaje al emplear un sentido adicional además del tacto al momento de participar en actividades relacionadas con el lenguaje braille. Los órganos de los sentidos y las constantes interacciones activas con el entorno determinan qué aprender y qué talentos individuales desarrollamos. Las experiencias auditivas ricas en sonidos con significado sirven de gran ayuda tanto para la enseñanza del Braille como para el desarrollo del sentido del oído.

## **2.7. Descripción Componentes Electrónicos Y Tecnologías**

### **2.7.1. *Microcontroladores***

Un microcontrolador o MCU es un dispositivo conformado por transistores, con la ayuda de la microelectrónica estos transistores forman compuertas lógicas, flip flops, memorias, unidades de control, unidades aritméticas y lógicas. Apareció por primera vez en 1976 dos de los primeros microcontroladores fueron el 8048 de Intel y el 6805R2 de motorola. En la actualidad los microcontroladores se utilizan en aplicaciones que requieren el procesamiento de datos en tiempo real como por ejemplo en los sistemas embebidos, la robótica

y la automatización. (Mijarez, 2014). En la figura 10 podemos observar algunos microcontroladores de la marca Microchip.

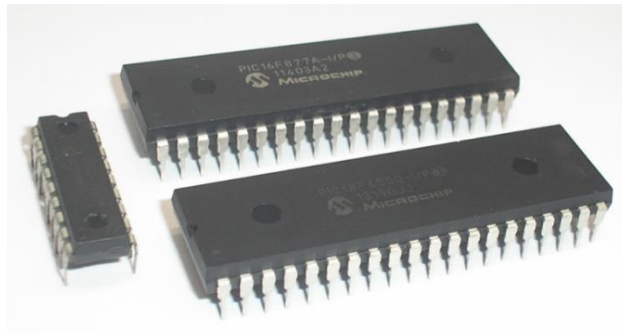


Figura 10: Algunos microcontroladores

Fuente: SHERLIN.BOX.ES. (2020). Qué es un microcontrolador. Recuperado de: <https://sherlin.xbot.es/microcontroladores/introduccion-a-los-microcontroladores/que-es-un-microcontrolador>

Un microcontrolador típico se compone de una unidad central de procesamiento o CPU, unidades de memoria RAM, memoria ROM donde se almacenan los programas, puertos de entrada y salida y periféricos, todo esto conectado y en conjunto forman una microcomputadora. En la figura 11 tenemos los componentes típicos de un microcontrolador.

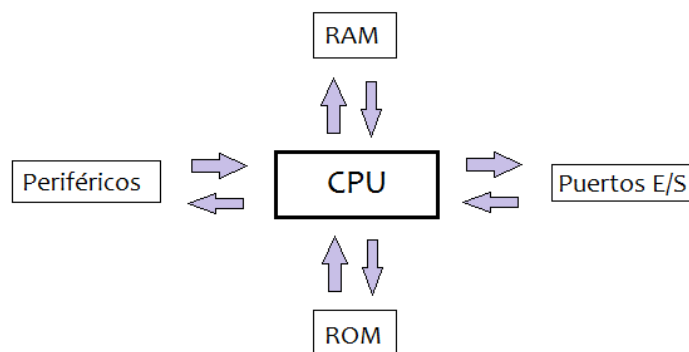


Figura 11: Componentes típicos de un microcontrolador

Fuente: Elaborado por el autor

El propósito de todo microcontrolador es ejecutar el programa que ha sido guardado en su memoria ROM, los programas que escribimos en determinado lenguaje de programación son entendibles para nosotros, pero no para el microcontrolador es por esta razón que todo el

código debe ser transformado a lenguaje máquina por un compilador. (Dogan, 2007). En la figura 12 podemos observar el proceso de funcionamiento de un compilador.

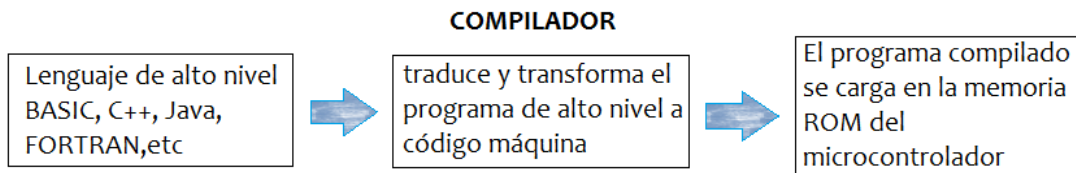


Figura 12: Funcionamiento de un compilador

Fuente: Elaborado por el Autor

### 2.7.2. Solenoides

Un solenoide o electro magneto consiste en hilo conductor aislado y enrollado helicoidalmente en un núcleo metálico y conectado a una fuente de voltaje, operan con el principio de atracción y repulsión magnética y se pueden usar para producir movimiento mecánico, entre sus usos están la fabricación de interruptores, actuadores, válvulas, etc. (SPARKFUN ELECTRONICS, 2019). En la figura 13 tenemos un solenoide comercial típico de 5v.



Figura 13: Solenoide comercial 5v

Fuente: SPARKFUN ELECTRONICS. (2019). Solenoid 5v small. Recuperado de: <https://www.sparkfun.com/products/11015>



Por su construcción existen 4 tipos Básicos de Solenoides: tipo placa, tipo campana, de acción vertical, horizontal como podemos ver en la figura 14. La principal diferencia entre los diferentes tipos de solenoides es la dirección de movimiento y la estructura que mueven. (Harper, 2004)

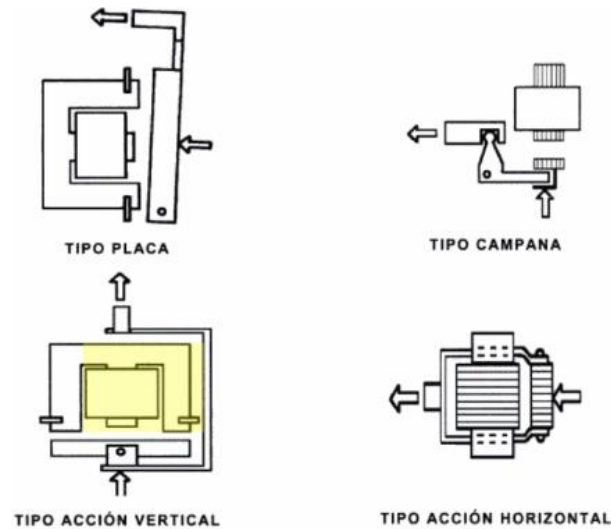


Figura 14: Tipos de Solenoides

Fuente: Santamaria E. (2002). “Electrónica digital y Microprocesadores”, Recuperado de: <https://books.google.com.ec/books?id=7dk7YCu0HMC&printsec=frontcover#v=onepage>

Como ya sabemos los solenoides están compuestos por una bobina de alambre enrollado la cual funciona similar a un motor en el sentido que tiende a demandar más corriente cuando se energiza (corriente de arranque) puesto que la oposición al flujo de corriente al inicio es solo de la resistencia del alambre de la bobina. Una vez ha sido energizada la bobina esta se calienta y comienza a mover el núcleo de hierro del solenoide lo cual causa que la corriente decaiga y se estabilice a un valor que permanecerá constante esta corriente se conoce como corriente de cierre. (Harper, 2004)

### 2.7.3. Transistores

Un transistor es un dispositivo semiconductor que entrega una respuesta eléctrica de salida como respuesta a una entrada, típicamente se utiliza como conmutador, oscilador,

amplificador o rectificador. Los más utilizados en electrónica son los de unión bipolar y los de efecto de campo.

Un transistor BJT (Bipolar Junction Transistor) es un dispositivo de 3 terminales: emisor, base y colector compuesto por 2 uniones de tipo PN, la unión emisora y la unión colectora, estos transistores tienen la característica de que la corriente del colector es controlada por la corriente de la base, los hay de dos tipos: NPN y PNP ambos son dispositivos básicos de la electrónica y son ampliamente usados como amplificadores y conmutadores con señales de baja amplitud. (Viñas, 1999). En la figura 15 se puede observar los símbolos de transistores NPN y PNP.

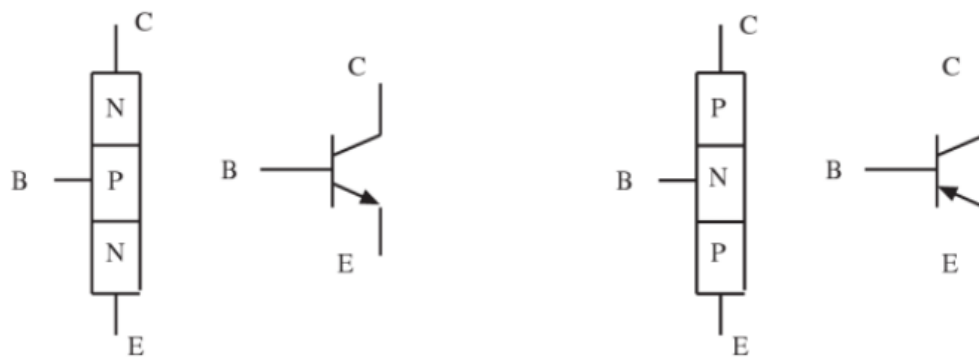


Figura 15: Simbología de transistores NPN y PNP

Fuente: Molina. (2015). El transistor Bipolar. Recuperado de:  
[http://profesormolina2.webcindario.com/tutoriales/trans\\_bipolar.htm](http://profesormolina2.webcindario.com/tutoriales/trans_bipolar.htm)

Un transistor BJT tiene tres modos de funcionamiento:

- **Corte:** En este modo el transistor se comporta como si el colector y el emisor estuvieran desconectados.
- **Saturación:** En este modo, el transistor se comporta como si el colector y el emisor estuvieran conectados por un diodo de pequeña tensión.

- **Activo:** En este modo, la corriente entre el colector y el emisor es proporcional a la intensidad de la base. Este modo es el utilizado para amplificar señales.

Un MOSFET (Transistor de Efecto de Campo Semiconductor de Óxido Metálico) es un tipo de transistor FET unipolar en el que la corriente fluye at través de un canal cercano a la superficie del semiconductor desde un terminal source hasta un contacto drain, este flujo de corriente es controlado por una señal de voltaje en el terminal gate. (Santamaria, 2002)

Al igual que en los transistores BJT también existen MOSFET de canal n y canal p, su simbología se aprecia en la figura 16.

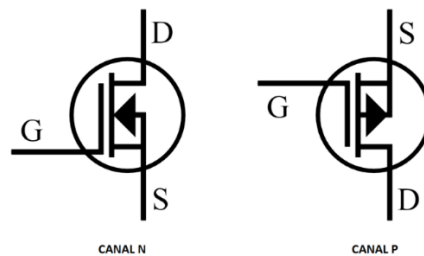


Figura 16: Símbolo de transistores MOSFET

Fuente: Llamas. (2014). Controlar grandes cargas con arduino y transistor mosfet. Recuperado de: <https://www.luisllamas.es/arduino-transistor-mosfet/>

De forma similar a los transistores BJT los MOSFET también presentan 3 modos de funcionamiento:

- **Corte:** adopta el comportamiento de un circuito abierto entre Source y Drain
- **Saturación:** adopta el comportamiento de un cortocircuito entre Source y Drain
- **Zona lineal:** se comporta como una resistencia de valor variable

En la figura 17 tenemos las curvas de conducción de un mosfet típico de canal n con los ejes  $I_{DS}$  o corriente drain-source y  $V_{DS}$  o voltaje drain-source y sus modos de funcionamiento.

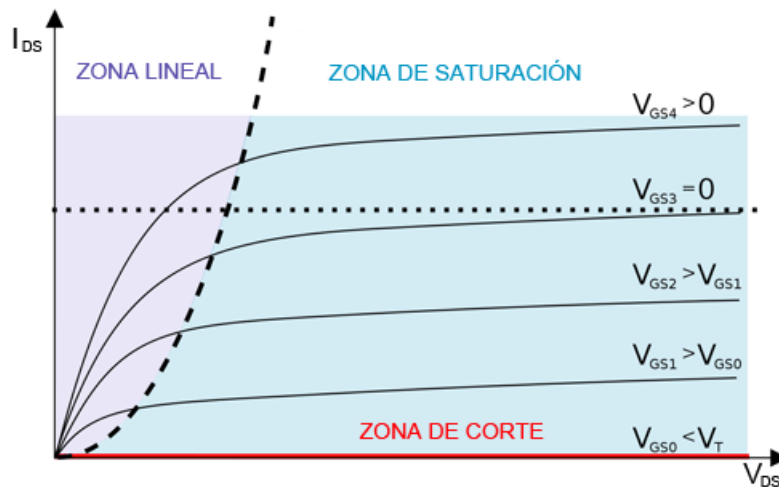


Figura 17: Representación de la zona de corte y saturación de un MOSFET

Fuente: Llamas. (2014). Controlar grandes cargas con arduino y transistor mosfet. Recuperado de: <https://www.luisllamas.es/arduino-transistor-mosfet/>

#### 2.7.4. Reconocimiento de Voz

Una parte importante en el desarrollo de programas y sistemas es la comunicación con el usuario, típicamente esta comunicación se da mediante el lenguaje escrito por su facilidad de utilización, sin embargo, hoy en día son comunes las interfaces orales como medio de comunicación con un sistema debido a las ventajas que ofrece. Una característica es la velocidad, la mayoría personas puede pronunciar 200 palabras por minuto mientras que muy pocas pueden tipear más de 60 palabras en el mismo tiempo, otra ventaja es la eliminación de algunas limitaciones físicas en la interacción hombre-máquina ya que al controlar un sistema con la voz no son necesarios sentidos como la vista o el tacto. (Rufiner, Hugo, & Milone, 2005)

Algunas aplicaciones de los comandos de voz son:

- Dictado Automático

- Control por Comandos
- Comunicación con sistemas portátiles como relojes inteligentes
- Sistemas para discapacitados

### 2.7.5. *Sistemas CNC*

Un sistema CNC o de control numérico computarizado es un sistema de automatización que usan distintas máquinas, esencialmente es un sistema que junto a los lenguajes de programación y el software CAD controla el movimiento de cualquier herramienta y dan forma a materiales en bruto como la madera, plástico, etc. (Jorquera, 2017). En la figura 22 podemos observar una fresadora CNC.

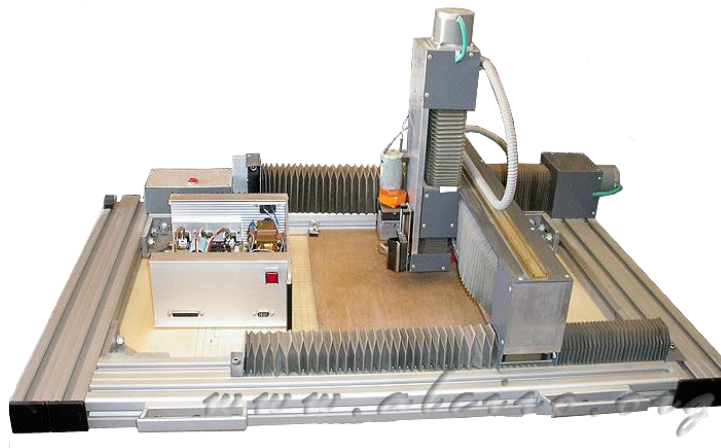


Figura 18: Plotter Fresadora Router CNC

Fuente: Alciro. (2007). Plotter Router Fresadora CNC. Recuperado de: [http://www.alciro.org/alciro/Plotter-Router-Fresadora-CNC\\_1](http://www.alciro.org/alciro/Plotter-Router-Fresadora-CNC_1)

Algunos ejemplos de herramientas de fabricación digital que utilizan el sistema CNC son:

- Fresadoras
- Cortadora laser

- Cortadora de vinilo
- Tornos
- Impresoras 3D

### ***2.7.6. Entornos de Desarrollo Integrado IDE***

Las siglas IDE vienen de Integrated Development Environment (Entorno de Desarrollo Integrado), el cual consta de las herramientas de software necesarias que permitan desarrollar diferentes programas de una manera cómoda, permite escribir y editar las instrucciones que serán cargadas a un microcontrolador y a su vez comprobar que no haya errores en el programa. (Torrente, 2013)

Las herramientas más importantes que conforman un IDE son:

- Editor de texto plano optimizado para código fuente
- Depurador
- Compilador
- Plantillas de código
- Diseñador de interfaces gráficas

No es lo mismo un IDE que un editor de código, un editor de código permite una edición rápida y puntual de un texto sin formato como por ejemplo el block de notas de Windows o el “IDE de Arduino” que, aunque se denomina IDE no lo es como tal, un IDE es un conjunto de herramientas que permiten la personalización de un programa tanto en su estructura y funcionamiento como en su aspecto visual.

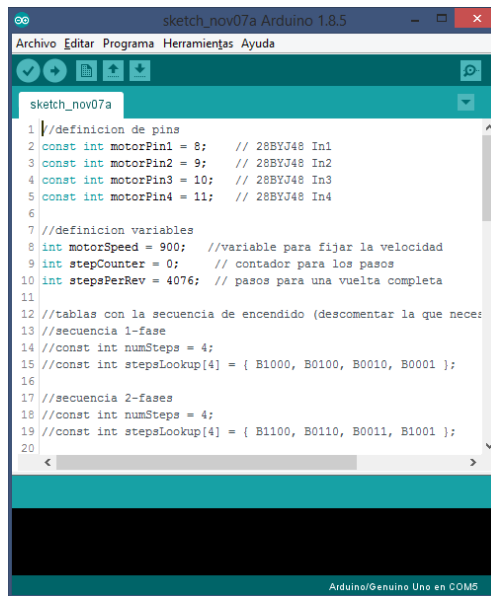


Figura 19: Interfaz IDE de Arduino

Fuente: IDE Arduino. (2020)

### 2.7.7. Software CAD

El software CAD (Computer Aided Design) o de diseño asistido por ordenador es un programa que sirve para el modelado de estructuras tridimensionales es decir para su creación, edición, visualización y análisis. Además, estos programas son capaces de simular estrés mecánico, aerodinámico útil para optimizar procesos de fabricación. (Ortega, 2015)

Estos programas de dibujo en 3D incluyen herramientas de dibujo como color, capa, estilo de línea, nombre, definición geométrica, material, etc., que permiten manejar la información de forma lógica

Los siguientes son algunos de los softwares CAD más utilizados:

- FreeCAD
- SolidWorks
- AutoCAD
- CATIA
- BlocksCAD

- Fusión 360

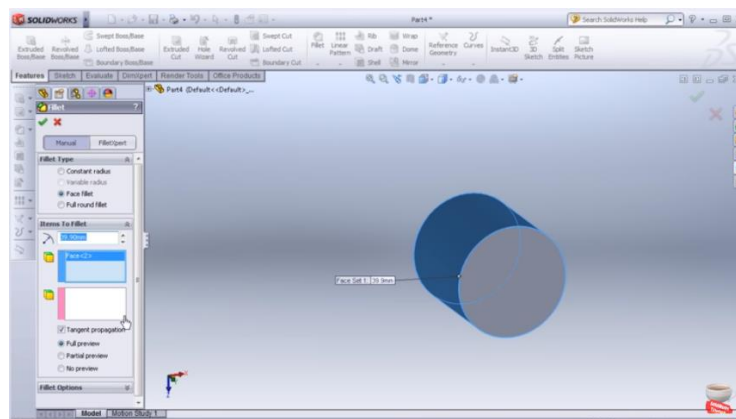


Figura 20: Modelado de una pieza en SolidWorks

Fuente: Dassault Systems SolidWorks Corporation. (2020). Solutions for Academia. Recuperado de: <https://www.solidworks.com/solution/organization-type/academia>

### 2.7.8. Comunicación Serial

Es un protocolo para comunicación entre dispositivos tiene como característica el envío y recepción de información por una misma línea física esto se realiza bit a bit de manera secuencial. Un puerto serial es más lento que un puerto paralelo debido a su modo de transmisión según (IEEE, 1978) en su especificación IEEE 488 establece que la comunicación en paralelo no puede usar un conductor físico que supere los 20 metros mientras que, en una transmisión serial el largo del cable puede llegar a los 1200 metros.

Un puerto serie utiliza 3 líneas: tierra, transmitir y recibir, debido a que trabaja de forma asíncrona, es posible enviar datos por una línea mientras se reciben datos por otra. La velocidad se mide en baudios o bits por segundo, además una trama se compone de bits de inicio y parada que la delimitan, bits de datos que contienen la información y bits de paridad utilizados para la comprobación de errores. (Estrada, 2017).



**I** Bit de INICIO      **P** Bit de PARIDAD  
**P** Bit de PARADA      **D** Bit de DATOS

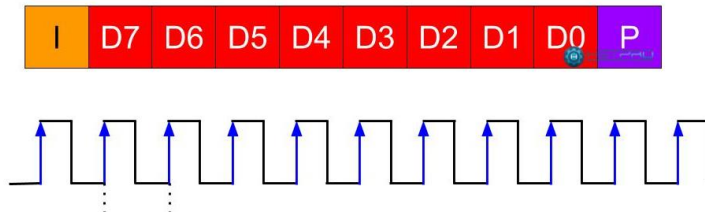


Figura 21: Trama de comunicación serial

Fuente: Estrada R. (2017). Puerto Serial protocolo y su teoría. Recuperado de: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/wp-content/uploads/2017/10/Distintas-Tramas-protocolo-Serial.jpg>

### **3. Capítulo III: Desarrollo Experimental**

En este capítulo se realiza el análisis, definición de requerimientos y modelamiento del sistema, además de la elección de hardware y software para lo cual se utiliza la metodología del modelo en V y el estándar IEEE 29148 que describen el ciclo de vida en el desarrollo de un sistema.

#### **3.1. Metodología**

Es importante que se lleven a cabo una serie de pasos y técnicas de investigación, los cuales permitirán abrir la perspectiva que se tiene del proyecto. La ejecución clara y objetiva de estos procedimientos son las que permitirán obtener un enfoque claro de lo que se desea obtener y como se desea lograr. Para alcanzar los objetivos planteados en un proyecto de investigación es necesario contar con una metodología, este es el punto de partida que nos permite llevar orden y establecer prioridades en los recursos y métodos a utilizarse.

Los pasos metodológicos consisten en la forma en la que se realiza la ejecución del método siguiendo una serie de instrucciones en forma empírica, estos procesos siguen un orden de ejecución y definen un sistema que garantiza que la finalidad de la investigación sea alcanzada.

La metodología escogida para el desarrollo de este proyecto es el “Modelo en V” o modelo de cuatro niveles se trata de un proceso ideal para proyectos pequeños con equipos de una a cinco personas, representa la secuencia de pasos en el desarrollo del ciclo de vida de un proyecto. Además, trabaja con el estándar IEEE 29148 para establecer los requisitos y especificaciones del sistema, esta norma internacional ofrece un tratamiento unificado de los procesos y productos de las Tics.

### 3.2. Modelo En V

El modelo en V o modelo de cuatro niveles fue diseñado por Alan Davis a principio de los años 90. Tiene cierta semejanza con el modelo en cascada por su consecución en niveles, pero innova en la etapa de pruebas con la introducción de validaciones a medida que se avanza con el proyecto esto con el fin de identificar los defectos y corregirlos lo antes posible. El modelo en v se basa en que el cliente es parte del desarrollo y hace especial énfasis en la arquitectura del software y hardware que se va definiendo y mejorando a lo largo del proyecto. (Zumba & León, 2018). En la figura 22 tenemos los niveles del modelo en V y sus diferentes fases:

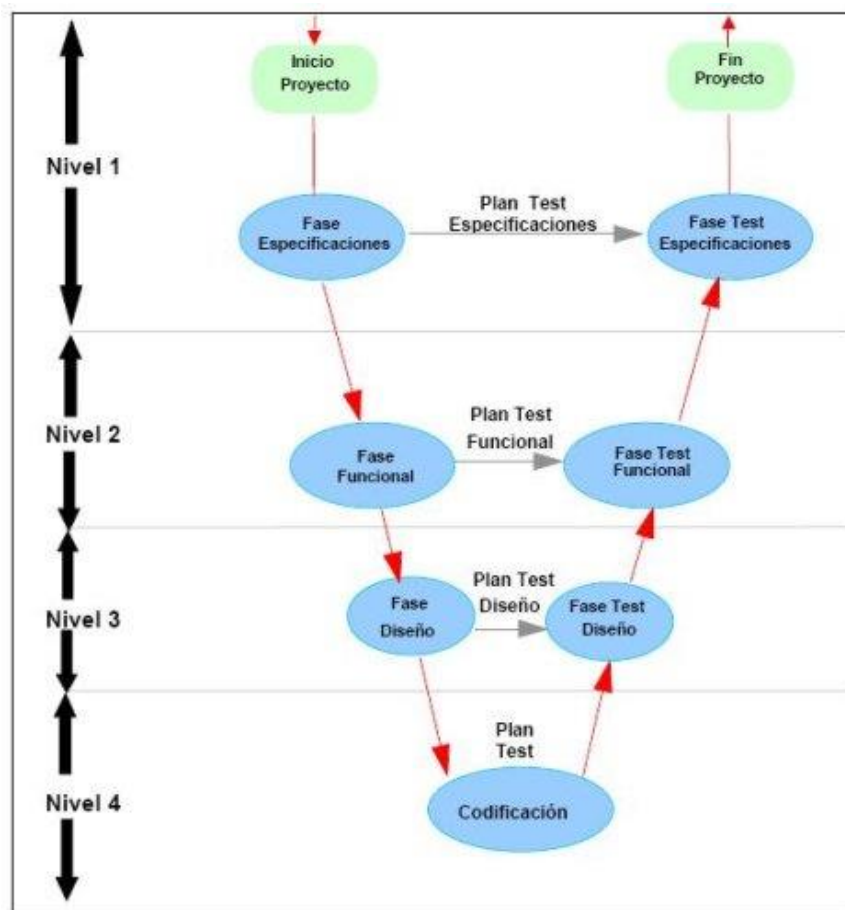


Figura 22: Niveles del modelo en V

Fuente: Rodríguez. J. (2019). Metodología de desarrollo de software. El Modelo en V o de Cuatro Niveles. Recuperado de: <http://www.iiia.csic.es/udt/es/blog/jrodriguez/2008/metodologia-desarrollo-sotware-modelo-en-v-o-cuatro-niveles>

El lado izquierdo de la V representa el análisis de necesidades y la definición de especificaciones del sistema mientras que el lado derecho representa la integración del sistema y su verificación, estos procesos se llevan a cabo por niveles cada uno de los cuales está relacionado con una parte puntual del proyecto.

- NIVEL 1.- Nivel inicial que define el inicio del proyecto está orientado al cliente. Se compone del análisis de requisitos y especificaciones.
- NIVEL 2.- Se establecen los requerimientos del proyecto.
- NIVEL 3.- Define los componentes hardware y software del sistema final.
- NIVEL 4.- Es la fase de implementación, en la que se desarrollan los elementos unitarios o módulos del programa.

### **3.3. Análisis**

Este proceso permite establecer los requerimientos con los que debe contar el sistema tanto en hardware como en software, esto mediante la obtención de datos de las personas involucradas en el desarrollo del proyecto. Las adecuadas técnicas y métodos de investigación permitirán estudiar y valorar la problemática a solucionar.

#### **3.3.1. Situación Actual**

El punto de partida es la evaluación de la situación actual esto con el fin de determinar la información respecto al aprendizaje del lenguaje braille es decir definir las formas en las que las personas con o sin la discapacidad aprenden el lenguaje, los métodos, las herramientas y recursos que utilizan. El proyecto permitirá un aprendizaje autónomo del lenguaje braille para lo cual se necesita conocer las necesidades con relación a los stakeholders involucrados en la investigación.

### **3.3.1.1. Observación Directa**

Mediante la observación directa es posible recolectar datos del objeto de estudio, esto sin alterar el ambiente o intervenir en el desenvolvimiento de una determinada acción de lo contrario los datos recolectados no serían válidos. La observación directa se emplea en la recolección de datos que de otra manera (con encuestas entrevistas o cuestionarios) no sería posible conseguirlos.

Observación directa a personas con discapacidad visual: para esta actividad se realizó una investigación en el Centro de Apoyo Pedagógico Especializado Imbabura conocido también como Centro de educación especial popular Imbabura (CPEEI) fundado en 1993, pertenece a la ciudad de Ibarra y se encuentra ubicado en el edificio El Torreón en el parque Pedro Moncayo, una de las finalidades del centro es la de agrupar a las personas con discapacidad visual de la provincia de Imbabura para capacitarlos en el lenguaje braille e insertarlos en la sociedad. Su directora la Sra. Noemí Trejo fue directora del CONADIS en Imbabura en el año 2006, con su experiencia capacita a los instructores del centro y participa en talleres dirigidos a niños y adultos.

Muchas personas en la institución usan herramientas tecnológicas principalmente el celular con asistentes de voz para realizar actividades como enviar mensajes de texto, realizar llamadas, buscar información en internet, etc.

Respecto a los hábitos a la hora de aprender el sistema braille se identificó que la mayoría de las personas adultas de la institución utilizan auriculares con sus teléfonos celulares, además a la hora de escribir con regleta y punzón o leer en hojas con relieve utilizan las dos manos: una que sirve como guía para seguir el renglón y la otra para sentir los símbolos generadores o escribirlos con el punzón. Todos los que aprenden el sistema braille en la institución tienen el apoyo de un maestro o maestra que les indica como realizar los ejercicios

por lo que para una aprender braille de cero sin un tutor o persona que lo guie es prácticamente imposible. También se encontraron casos especiales en los que algunas personas tienen baja sensibilidad en los dedos y realizan ejercicios especiales con semillas para recuperar la sensibilidad perdida.

Las conclusiones que se pudo obtener de este proceso son las siguientes:

- La observación directa fue realizada por 2 días consecutivos en el Centro de Apoyo Pedagógico Especializado Imbabura, fue una observación no intrusiva durante 20 minutos en un ambiente normal de trabajo, a personas alfabetizadas que aprendían el sistema braille.
- Se pudo observar que 4 de los 5 participantes usaban teléfonos celulares con auriculares y asistentes de voz o traductores de texto a voz para comunicarse, escuchar música, etc.
- Todos los participantes tenían un tutor que los guiaba en el proceso de aprendizaje, además de tableros especiales y hojas con relieve para aprender el sistema braille, lo que da a entender la importancia del apoyo táctil y auditivo en el proceso de instrucción.
- Los participantes usaban sus dos manos tanto para leer como para escribir en braille

### ***3.3.1.2. Entrevistas.***

Se realizaron entrevistas a los integrantes del Centro de Apoyo Pedagógico Especializado Imbabura, las preguntas fueron cerradas y corresponden a una temática que cualquier persona alfabetizada con discapacidad visual que sepa o no braille puede responder. El propósito de la encuesta es determinar algunas cuestiones de diseño del dispositivo como tamaño de botones, texturas, separaciones, mecanismos, etc.

Las preguntas realizadas se pueden consultar en el anexo 1 y 2. Las conclusiones y resultados que se pudieron obtener fueron los siguientes:

- Las opiniones de los participantes coincidieron en la necesidad de 10 a 12 símbolos generadores de escritura para representar palabras y frases
- Respecto a las texturas y formas los participantes escogieron una forma de media esfera para los puntos de cada símbolo generador debido a que es la forma que se usa en dispositivos como la máquina Perkins.
- En cuanto a la separación y tamaño de los puntos los participantes escogieron un tamaño reducido lo más parecido posible al echo con regleta y punzón
- En la parte de lectura los participantes escogieron 2 símbolos generadores con relieve para representar letras y números.

### **3.4. Requerimientos**

Se refiere a las propiedades esenciales y deseables de un sistema, especifica las funciones de un sistema y corresponde al nivel 2 del modelo en V. Se evalúan requerimientos de usuario, de sistema y arquitectura.

#### **3.4.1. Stakeholders**

Corresponde a todas las personas involucradas en el desarrollo del prototipo tanto hacia quienes va dirigido como quienes lo desarrollan. La tabla 2 contiene una lista de los stakeholders presentes en el proyecto.

Tabla 2: *Lista de Stakeholders*

---

<b>Lista de Stakeholders</b>	
<b>1.</b>	Personas con discapacidad visual
<b>2.</b>	Personas sin la discapacidad que deseen aprender braille
<b>3.</b>	Asesores: Ing. Carlos Vásquez, Ing. Jaime Michilena, Ing. Paul Rosero
<b>4.</b>	Sr. Jefferson Coyago

Fuente: Elaborado por el autor

### **3.4.2. Atributos de los requerimientos**

El estándar IEEE 29148 contiene disposiciones para los procesos y requerimientos de los productos y servicios de sistemas y software a lo largo de su ciclo de vida. Define la construcción de los requerimientos y les proporciona atributos y características. Cada requerimiento debe ser posible de cumplir, ser medible y verificable además deberán someterse a las siguientes tareas:

- Análisis de integridad de los requisitos del sistema
- Feed Back de los requisitos con la parte interesada
- Demostrar trazabilidad entre los requisitos del sistema y los requisitos de las partes interesadas.
- Mantener los requisitos del sistema junto con los fundamentos asociados, decisiones y suposiciones

#### **3.4.2.1. Nomenclatura para los requerimientos.**

Para una mejor comprensión y manejo de datos se establecen abreviaturas para los diferentes requerimientos. En la tabla 3 presenta la nomenclatura a utilizar.



Tabla 3: *Abreviaturas para los requerimientos*

<b>Requerimiento</b>	<b>Abreviatura</b>
<b>De Stakeholder</b>	STSR
<b>De Sistema</b>	YSR
<b>De Arquitectura</b>	SRSR

Fuente: Elaborado por el autor

### 3.4.3. *Requerimientos de Stakeholders*

Los requerimientos de Stakeholders definen los requisitos del sistema de acuerdo con las necesidades de las partes involucradas en el desarrollo del proyecto, ayudando a conseguir una mejor aceptación por parte de los usuarios o personas participantes, incluye requerimientos operacionales y de usuarios.

Las tareas realizadas para la definición y justificación de estos requerimientos fueron: la entrevista con la directora del Centro de Apoyo Pedagógico Especializado Imbabura la Sra. Noemí Trejo y la observación directa en esta institución. De lo cual se pudo concluir en los requerimientos operacionales y de sistema presentes en la tabla 4.

Tabla 4: *Requerimientos de Stakeholders*

<b>REQUERIMIENTOS DE STAKEHOLDERS</b>				
<b>Requerimientos Operacionales</b>				
#	Requerimiento	Prioridad		
		alta	media	Baja
<b>STSR1</b>	Alimentación eléctrica portable (baterías)			x
<b>STSR2</b>	Integración de un sistema de sonido (bocina y micrófono)	x		

<b>STSR3</b>	Módulo de reconocimiento de voz	x
<b>STSR4</b>	Signos generadores para lectura y escritura	x
<b>Requerimientos de Usuario</b>		
<b>STSR5</b>	Comunicación entre el usuario y el sistema mediante comandos de voz	x
<b>STSR6</b>	Información brindada al usuario de forma sensorial mediante la formación de puntos en relieve	x
<b>STSR7</b>	Utilización de materiales con texturas y formas reconocibles por el usuario (semiesfera para los puntos)	x
<b>STSR8</b>	Tamaño reducido de los símbolos generadores	x
<b>STSR9</b>	Mínimo de 10 símbolos generadores para escritura	x

Fuente: Elaborado por el autor

#### **3.4.4. *Requerimientos del sistema***

Los requerimientos de sistema hacen referencia a los servicios forma y funcionalidad que ofrece el producto, se consideran requerimientos de uso, funcionales y físicos. Las tareas realizadas para la definición y justificación de estos requerimientos fueron las descritas en la tabla 5.

Tabla 5: Actividades realizadas para definir requerimientos de sistema

Actividades Realizadas	Resultados Obtenidos	Observaciones
Entrevista con la Sra. Janeth Enríquez dirigente del área de no videntes de la biblioteca UTN	Delimitación del proyecto, sugerencias para mejorar la propuesta en base a las necesidades de las personas con discapacidad visual	En ambos casos se realizó el acercamiento con un modelo de símbolo generador tanto de lectura como de escritura y se obtuvieron sugerencias importantes, también se mostró interés por el proyecto
Entrevista con la Sra. Noemí Trejo directora del centro de apoyo pedagógico especializado Imbabura	Delimitación del proyecto, sugerencias respecto a la parte funcional y física de los símbolos generadores, muestras de material que utiliza la institución para enseñar braille.	

Fuente: Elaborado por el autor

Con las sugerencias obtenidas se realizaron cambios en las especificaciones del prototipo y se armó la tabla 6 de requerimientos del sistema.

Tabla 6: Requerimientos de Sistema

REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA				
Requerimientos Funcionales				
#	Requerimiento	Prioridad		
		alta	media	Baja
<b>SYSR1</b>	Cuando el usuario encienda el sistema se debe presentar de forma auditiva las opciones que tiene el usuario para la utilización del sistema	x		
<b>SYSR2</b>	El sistema recibe información del usuario mediante la pulsación de botones o comandos de voz	x		
<b>SYSR3</b>	El sistema es capaz de representar letras y números y comunicarlas al usuario mediante comandos de voz y de manera tangible	x		

<b>SYSR4</b>	El sistema evalúa la información que provee el usuario e informa si está correcta o no	x
<b>SYSR5</b>	El sistema es capaz de reproducir pistas de Audio precargadas	x
<b>SYSR6</b>	Los símbolos generadores son fáciles de distinguir mediante el tacto	x
<b>SYSR7</b>	El sistema consta de dos partes: matriz de lectura y matriz de escritura	x
<b>Requerimientos de Uso</b>		
<b>SYSR8</b>	Conexión a módulo sintetizador de voz y reproductor de audio compatible con el microcontrolador y el módulo de comunicación	x
<b>SYSR9</b>	Conexión a la red eléctrica	x
<b>Requerimientos Físicos</b>		
<b>SYSR10</b>	Ubicación del usuario en un sitio cómodo a una distancia adecuada de la bocina y el micrófono	x
<b>SYSR11</b>	Ubicación del dispositivo en un lugar con bajo ruido ambiental	x
<b>Requerimientos de Interfaz</b>		
<b>SYSR12</b>	El sistema cuenta con 2 símbolos generadores capaces de generar relieve para representar letras y números	x
<b>SYSR13</b>	El sistema cuenta con 10 símbolos generadores de escritura para representar letras palabras y frases cortas	
<b>SYSR14</b>	El signo generador de escritura debe ser capaz de conservar la forma de los puntos que presiona el usuario	
<b>SYSR15</b>	El sistema cuenta con una interfaz para ingreso de datos mediante la voz	
<b>Requerimientos Modos/Estados</b>		
<b>SYSR16</b>	El sistema debe iniciarse automáticamente al encenderse	x

---

**SYSR17** Menú de opciones: Ejercicios de lectura/ Escritura, Solicitar una letra o número

---

**Requerimientos de Performance**

---

**SYSR18** Censado de información todo el tiempo x

---

Fuente: Elaborado por el autor

### 3.4.5. *Requerimientos de Arquitectura*

Se refiere a lo que necesita el sistema para su funcionamiento tanto la parte electrónica como la parte física, se definen características de software y hardware, así como requerimientos de diseño, eléctricos y requerimientos lógicos.

Las tareas realizadas para la definición y justificación de estos requerimientos fue la construcción de un primer prototipo y simulaciones con el fin de identificar necesidades, fallos y aclarar dudas respecto a los sistemas de procesamiento y sistema eléctrico. Con los datos obtenidos se construyeron los requerimientos de arquitectura que se observan en la tabla 7.

Tabla 7: *Requerimientos de Arquitectura*

<b>REQUERIMIENTOS DE ARQUITECTURA</b>				
<b>Requerimientos Lógicos</b>				
#	Requerimiento	Prioridad		
		alta	media	Baja
<b>SRSH1</b>	Microcontrolador compatible con comunicación serial y módulos de comunicación	x		
<b>SRSH2</b>	Módulo de comunicación compatible con microcontrolador			
<b>Requerimientos de Diseño</b>				
<b>SRSH3</b>	Superficie adecuada para ubicar módulos y sensores		x	
<b>SRSH4</b>	Aviso al usuario cuando los datos ingresados sean incorrectos	x		

<b>Requerimientos de Software</b>		
<b>SRSH5</b>	Lenguaje de programación compatible con microcontrolador y módulo de comunicación	x
<b>SRSH6</b>	Librerías para usar módulos de comunicación	x
<b>SRSH7</b>	Motor de voz que soporte fonemas en español	x
<b>Requerimientos de Hardware</b>		
<b>SRSH8</b>	Módulo de memoria para almacenar pistas de audio	x
<b>SRSH9</b>	Tarjeta Programable de desarrollo	x
<b>SRSH10</b>	Puertos de TX, RX para conectar módulos compatibles	x
<b>SRSH11</b>	Adecuado número de pines para conectar componentes	x
<b>Requerimientos de Eléctricos</b>		
<b>SRSH12</b>	Fuente multi voltaje para alimentar distintos componentes electrónicos	x

Fuente: Elaborado por el autor

### **3.5. Modelamiento Del Prototipo**

Una vez establecidos todos los requerimientos, procedemos a modelar el sistema lo cual constituye la primera parte del nivel 3 del modelo en V. En este apartado primero definiremos al sistema identificando sus modos de funcionamiento, restricciones y riesgos para generar luego un diagrama de bloques e ir eligiendo los componentes en software y hardware de cada módulo que compone el sistema.

#### **3.5.1. Descripción General del sistema**

El sistema electrónico cuenta con dos símbolos generadores de seis puntos que permiten identificar caracteres braille mediante el tacto, también cuenta con una serie de

pulsadores dispuestos en grupos para el ingreso de datos, además cuenta con una bocina y micrófono para interactuar usando la voz con el dispositivo.

El funcionamiento parte desde la reproducción de un audio introductorio que solicita al usuario que escoja entre el aprendizaje de lectura o escritura de letras, números o frases. En el caso de la lectura el usuario solicita una letra o número y esta se representa en los símbolos generadores. Para la escritura es el proceso contrario, el dispositivo solicita que se ingrese un carácter, una palabra o frase con los pulsadores y se indica si es correcto o no.

#### ***3.5.1.1. Restricciones.***

- El sistema está limitado a representar un máximo de dos símbolos generadores a la vez en la matriz de lectura
- Es necesario para el funcionamiento la conexión del dispositivo con un módulo sintetizador de voz
- Todas las pistas de audio de letras, palabras y frases están pregrabadas y no se podrán agregar más.
- Se requiere un bajo ruido ambiental para el correcto funcionamiento del reconocimiento de voz.
- El dispositivo debe estar conectado a la red eléctrica para su funcionamiento, no cuenta con baterías.
- El ingreso de datos mediante pulsadores deberá tener un tiempo máximo de 1000ms entre cada pulsación.
- Se requiere que el usuario este cerca del micrófono o utilice audífonos con micrófono integrado para el ingreso de datos mediante la voz.
- El dispositivo no almacenará los datos de aprendizaje una vez sea reiniciado

### **3.5.1.2. Riesgos.**

- El microcontrolador se sature por la gran cantidad de datos
- Mal reconocimiento de caracteres por pulsaciones demasiado rápidas
- Mal reconocimiento de comandos de voz por alto ruido ambiental
- Desconexión del módulo sintetizador de voz, así como el módulo de comunicaciones por errores en la transmisión
- Subida de temperatura del dispositivo por largos tiempos de uso

### **3.5.2. Diagrama de bloques**

Para una mejor comprensión de la estructura del sistema realizamos un diagrama de bloques del sistema con los módulos que lo componen y la interacción entre ellos. El sistema embebido o módulo de procesamiento es el encargado de tratar toda la información y realizar las actividades de acuerdo con lo solicitado por el usuario, las flechas indican la interacción de las diferentes partes por ejemplo el módulo de lectura al ser de solo salida de datos no ofrece información alguna al microcontrolador, mientras que el módulo de escritura al ser un dispositivo de entrada solo ofrece información mas no la provee al usuario. En la figura 23 tenemos el diagrama de bloques del sistema.



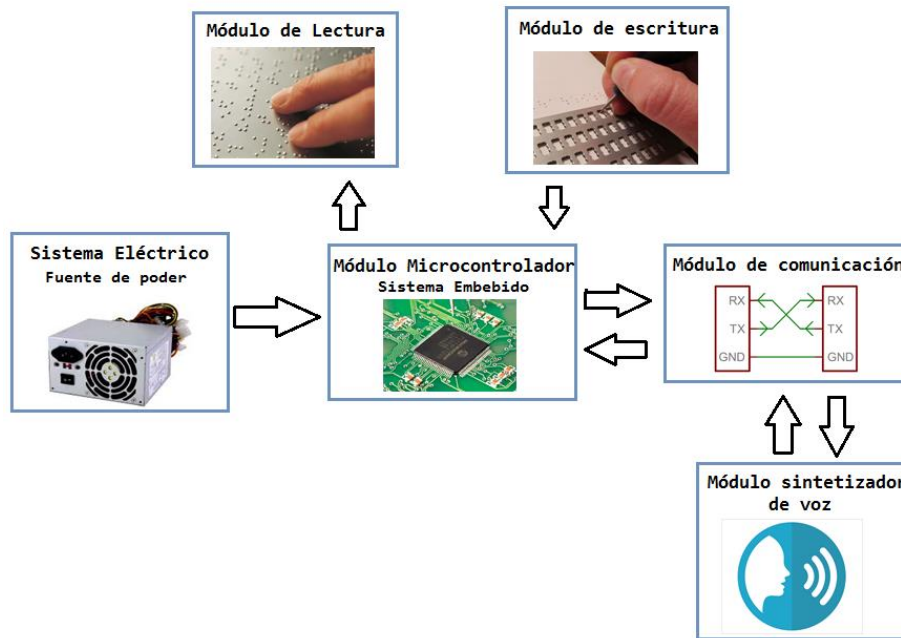


Figura 23: Diagrama de Bloques del Sistema

Fuente: Elaborado por el autor

### 3.5.3. *Módulo de lectura*

Es el módulo de salida de datos, capaz de representar símbolos generadores en relieves tangibles por el usuario, para este propósito se evaluaron 2 posibles alternativas: reconocimiento de puntos mediante vibración y reconocimiento de puntos mediante relieves formados por solenoides. Por lo cual se construyeron 2 prototipos de símbolos generadores los cuales se detallan a profundidad en los anexos 3 y 4.

Se decidió construir estas celdas braille ya que no hay dispositivos de este tipo en el mercado local o son excesivamente costosos

#### 3.5.3.1. *Primer prototipo símbolo generador*

El primer prototipo de símbolo generador utiliza vibración como medio de reconocimiento de puntos por parte del usuario, se encuentra construido con motores vibradores sobre resortes para amortiguar la vibración y hacer posible juntarlos en un espacio

reducido sin que induzcan movimiento los unos a los otros y se pueda diferenciar cuales puntos del símbolo generador están activos y cuáles no. En la figura 24 se observa el signo generador construido.

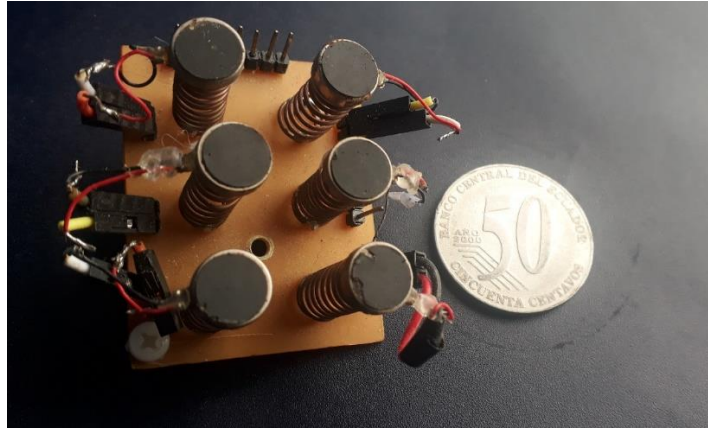


Figura 24: Primer prototipo de símbolo generador

Fuente: Elaborado por el autor

Se realizaron las pruebas de funcionamiento del signo generador para lo cual se activaron los motores uno por uno y juntos para comprobar aspectos como el consumo energético, el costo y aspectos físicos como la facilidad de reconocimiento de los relieves formados. Se llegó a los siguientes resultados:

- Su consumo de corriente alimentando cada motor vibrador con 1,3 volts fue de 0.03 amperios por punto dando un máximo total de 0.18 amperios de consumo.
- Los materiales que se utilizaron para su construcción son de fácil adquisición puesto que son bastante comunes y están disponibles en el mercado.
- El costo total de realizar un signo generador fue de 23,35 dólares
- Dimensiones físicas de 5 x 4 cm y altura de 5cm.
- Fácil construcción, pero con algo de complejidad para su montaje junto con otros símbolos generadores del mismo tipo.

Se consideró importante realizar la medición de ruido ya que este era notorio al activar los 6 puntos del signo generador y al activar más de un símbolo podría resultar excesivo. En la figura 25 tenemos la medición realizada utilizando el software Sound Meter para Android.



Figura 25: Medición de ruido primer prototipo de símbolo generador

Fuente: Resultados de Sound Meter

Si bien el ruido generado no es muy alto (44DB) es importante considerar que el signo generador forma parte de un proyecto de aprendizaje del lenguaje braille por lo que el ruido podría mermar la concentración del que aprende, la medición se la realizo teniendo activado un punto del signo generador y con ruido ambiental bajo.

### ***3.5.3.2. Segundo prototipo símbolo generador***

Ya que se identificaron problemas en el primer prototipo se procedió a la construcción de un segundo prototipo utilizando otra tecnología que se adapte a los requerimientos del

proyecto. Se tiene como antecedente un símbolo generador hecho a partir de motores vibradores que presentó problemas en sus pruebas de funcionamiento

Se requiere diseñar y construir el símbolo generador teniendo en cuenta que el costo no sea elevado ya que formará parte de un grupo de símbolos generadores que en conjunto servirán para interpretar 2 caracteres tangibles braille. Para su construcción se consideró su compatibilidad de acoplamiento con microcontroladores, su consumo de potencia y sus dimensiones. Los detalles de esta construcción están adjuntos en el anexo 4.

Este segundo prototipo genera texturas a partir del principio del electromagnetismo utilizando solenoides en cada punto y con una estructura echa de PLA que sirve como carcasa. En la figura 26 se observa el signo generador construido.



Figura 26: Segundo Prototipo de símbolo generador

Fuente: Elaborado por el autor

Se realizaron pruebas de funcionamiento lo cual arrojó los siguientes resultados:

- Alto consumo energético 1 amperio a 5 volts por cada punto dando un máximo de 6 amperios a 5 volts.
- Dimensiones físicas 3.5 x 4.5cm con una altura de 3.7cm
- Costo total de 47,6 dólares para su construcción
- Componentes no muy comunes y de difícil adquisición en el mercado
- Aspecto estético más limpio
- De fácil construcción y montaje
- Requiere diseño carcasa e impresión en 3D

### 3.5.3.3. Elección de hardware.

Se procede a la elección de una de las opciones anteriores, para esto se tomó en cuenta el requerimiento de stakeholders **STSR1**, los requerimientos de sistema: **SYSR3**, **SYSR6**, **SYSR9**, **SYSR11** y **SYSR12** y el requerimiento de arquitectura **SRSH12**. En la tabla 8 se detallan los aspectos valorados un 1 significa que cumple el requerimiento y un 0 que no lo cumple.

Tabla 8: Valoración para el hardware del módulo de lectura

Símbolo generador	Requerimientos							Valoración Total
	STSR1	SYSR3	SYSR6	SYSR9	SYSR11	SYSR12	SRSH12	
<b>Primer Prototipo</b>	1	1	0	1	0	1	1	5
<b>Segundo prototipo</b>	1	1	1	1	1	1	1	7

Fuente: Elaborado por el autor

Como se observa en la tabla 7 el segundo prototipo presenta una mayor valoración razón por la cual será el elegido como hardware del módulo de lectura y formará parte del proceso de construcción del prototipo final. En este módulo no se elige software, pero vale la pena mencionar que el diseño 3D se lo realizó en el software libre FreeCad.

#### **3.5.4. Módulo de escritura**

Es un módulo de entrada de datos del usuario, cuenta con un conjunto de símbolos generadores con los que se pueden representar letras, palabras y frases cortas, dicho de otra manera, se trata de un teclado para el ingreso de datos. Un aspecto fundamental a la hora de elegir la estructura del teclado es su tamaño y su forma puesto que es con el sentido del tacto que se comprueban los caracteres que se están formando en el teclado y que serán enviados al microcontrolador.

##### **3.5.4.1. Tamaño y forma de la tecla.**

Para construir el teclado se tienen dos opciones de teclas: pulsadores e interruptores en cuanto al tamaño, se eligen los componentes de menor tamaño posible con el fin de que el resultado final sea lo más parecido a un símbolo generador escrito con regleta y punzón, pero teniendo en cuenta las limitaciones de la electrónica con la que contamos.

Por una parte, una celda braille se puede hacer con pulsadores para los cuales se debe considerar el tiempo entre cada pulsación ya que el microcontrolador debe ser capaz de censar la información obtenida en esos tiempos. Una desventaja de utilizar pulsadores para el teclado es que el usuario no siempre estará seguro de qué ingresó ya que no hay manera de volver atrás y comprobarlo esto debido a que los pulsadores regresan a un estado inicial luego de ser presionados, además en caso de querer corregir un punto mal presionado se debería incluir una

tecla de borrado o algo que sirva para ese fin, lo cual no resulta muy atractivo para el usuario, es mejor algo simple pero funcional.

En la figura 27 tenemos un símbolo generador de escritura construido a partir de pulsadores.



Figura 27: símbolo generador de escritura construido con pulsadores

Fuente: Elaborado por el autor

Otra opción que tenemos es la de un teclado con interruptores, similar al teclado con pulsadores, pero se solucionaría la corrección de datos mal ingresados debido a que un interruptor conserva la forma una vez es presionado y se puede comprobar fácilmente los puntos que quedan con relieve alto y bajo antes de enviar la información. En la figura 28 tenemos un símbolo generador braille construido con interruptores.

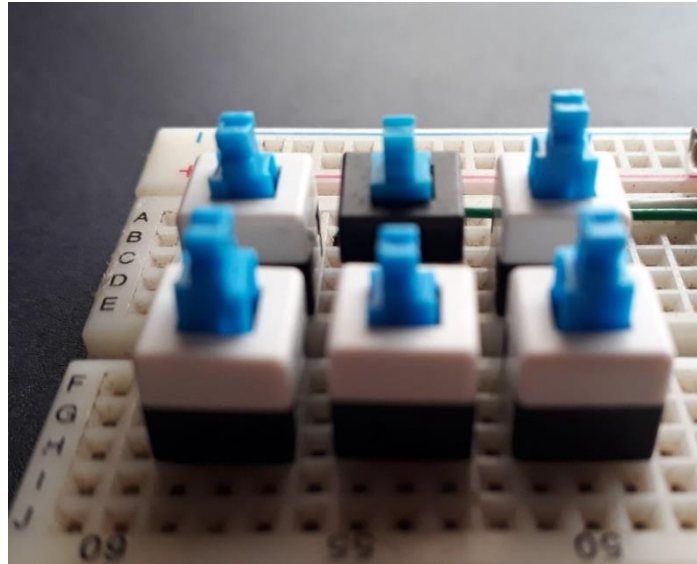


Figura 28: Símbolo generador de lectura construido con interruptores

Fuente: Elaborado por el autor

### 3.5.4.2. Elección de Hardware.

Como opciones a evaluar tenemos teclado braille echo con pulsadores y uno echo con interruptores según el requerimiento **STSR11**, los puntos del signo de escritura deben tener una forma de semiesfera, lo cual se puede lograr con cualquiera de las dos opciones. Otros requerimientos por evaluar para elegir la mejor opción son: el requerimiento de stakeholders **STSR13**, y los requerimientos de sistema: **SYSR6** y **SYSR14** los cuales se evalúan en la tabla 9.

Tabla 9: Valoración para el hardware del módulo de escritura

	Requerimientos				Valoración total
	STSR11	STSR13	SYSR6	SYSR14	
<b>Teclado con pulsadores</b>	1	1	0	0	2
<b>Teclado con interruptores</b>	1	1	1	1	4

Fuente: Elaborado por el autor



La mejor opción es la de un teclado con interruptores principalmente por su característica de conservar la forma de los puntos presionados, esta propiedad es frecuente en juguetes braille para niños y en instrumentos para empezar el aprendizaje de este lenguaje.

### 3.5.5. Módulo sintetizador de voz.

El módulo sintetizador de voz en un dispositivo de entrada que convierte la voz del usuario en datos interpretables por el microcontrolador y también cumple las funciones de reproductor de audio, la calidad de un sintetizador de voz se juzga por la similitud que el sonido tenga con la voz humana y por su facilidad de ser entendido claramente.

Las opciones que se tienen para este dispositivo son los módulos sintetizadores y los motores de voz cada uno con diferentes características. En la tabla 10 tenemos una descripción de dos módulos sintetizadores y un motor de voz.

Tabla 10: Análisis para la elección del módulo sintetizador de voz

Característica	Elechouse v3	Easyvr 3.0	Google Assistant
<b>Soporte de idiomas</b>	Inglés y español	Disponible en inglés estadounidense, italiano, japonés, alemán, español y francés, 28 idiomas en desarrollo	Mas de 30 idiomas soportados
<b>Número de instrucciones de voz</b>	Soporta u máximo de 80 comandos. Cada comando de 1500 ms como máximo solo 15 comandos al mismo tiempo	Máximo de 16 comandos de voz al mismo tiempo	Ilimitados
<b>Conversión de texto a voz y viceversa</b>	No convierte texto a voz	Convierte texto a voz y voz a texto, también permite reproducir audio de una tarjeta microSD	Si posee esta opción

<b>Salida de altavoz</b>	No posee	Posee conectores adicionales para la entrada de micrófono, una salida de altavoz de 8 ohmios, salida con conector Jack para audífonos, y acceso a los pines de E/S del módulo	Posee todas las características que su hardware contenedor
--------------------------	----------	---	--

**Ilustración**



Fuente: Información Adaptada de: 1Sheeld. (2019). 5 Arduino voice control Modules. Recuperado de: <https://1sheeld.com/top-5-arduino-voice-control-modules/>, Google. (2020). Asistente de Google: tu Google personal. Recuperado de: [https://assistant.google.com/intl/es\\_es/](https://assistant.google.com/intl/es_es/)

**3.5.5.1. Elección de hardware y software**

Para la elección del hardware y software se toman en cuenta los requerimientos de stakeholders **STSR3** y **STSR9**, los requerimientos de sistema **SYSR1**, **SYSR5**, **SYSR8**, **SYSR15** y **SYSR18**, finalmente los requerimientos de arquitectura **SRS7** y **SRS8**. En la tabla 11 tenemos la valoración de las opciones en base a los requerimientos.

Tabla 11: Valoración para el hardware del módulo sintetizador de voz

Opciones	Requerimientos									Valoración Total
	STSR3	STSR9	SYSR1	SYSR5	SYSR8	SYSR15	SYSR18	SRS7	SRS8	
Elechouse v3	1	1	0	0	1	1	0	1	0	5
Easyvr 3.0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	7
Google Assistant	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9

Fuente: Elaborado por el autor

Como se observa la opción de Google Assistant es la opción que alcanzó la mayor valoración por su capacidad de soportar muchas instrucciones de voz a la vez y reconocer fonemas en español, sus tiempos de respuesta, voces disponibles, calidad de reconocimiento de voz, supresión de ruido entre otras características.

El software del módulo va estrictamente relacionado con su hardware, en este caso ya que Google Assistant fue la mejor alternativa es necesario desarrollar una aplicación para Android que permita la comunicación del módulo con el microcontrolador teniendo así un sistema de sonido para el proyecto.

### 3.5.6. Módulo de comunicación

Es el módulo que se encargará de la transmisión de datos entre el sintetizador de voz y el microcontrolador. Como el sistema de sonido se ejecutará sobre Android, el módulo de comunicación debe ser compatible con esta plataforma por lo cual se evalúan dos tecnologías: módulos Wi-Fi y módulos Bluetooth, ambas tecnologías muy utilizadas por dispositivos móviles. En la tabla 12 tenemos una descripción de las características de un módulo comercial de cada tipo.

Tabla 12: Características módulos ESP8266 y HC-05

	<b>Módulo Wi-Fi ESP8266</b>	<b>Módulo Bluetooth HC-05</b>
<b>Características</b>	CPU RISC de 32-bit: Tensilica Xtensa LX106 a un reloj de 80 MHz RAM de datos de 96 KB IEEE 802.11 b/g/n Wi-Fi Tiene integrados: TR switch, balun, LNA, amplificador de potencia de RF y una red de adaptación de impedancias Soporte de autenticación WEP y WPA/WPA2 1 conversor ADC de 10-bit	Funciona como dispositivo maestro y esclavo bluetooth Configurable mediante comandos AT Baudios soportados: 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200. Interfaz: Serial TTL Antena: Integrada en el PCB Temperatura de trabajo (Max): 75°C Temperatura de trabajo (Min): -20°C Dimensiones: 4.4 x 1.6 x 0.7 cm

---

## Ilustración



Fuente: Información adaptada de: ElectronicWings. (2019). Nodemcu Hc 05 Bluetooth Module Interfacing With Nodemcu. Recuperado de: <https://www.electronicwings.com/nodemcu/hc-05-bluetooth-module-interfacing-with-nodemcu>

### 3.5.6.1. Elección de hardware

Para la elección de hardware se toman en cuenta los requerimientos de sistema **SYSR8**, **SYSR18** y los requerimientos de arquitectura **SRSR2**, **SHRSH6** y **SRSR10**. En la tabla 13 tenemos la valoración asignada a cada opción dependiendo de si cumplen el requerimiento o no.

Tabla 13: Valoración para el hardware del módulo e comunicación

	Requerimientos					Valoración total
	SYSR8	SYSR18	SRSR2	SHRSH6	SRSR10	
<b>Módulo Wi-Fi ESP8266</b>	1	1	1	1	1	5
<b>Módulo Bluetooth HC-05</b>	1	1	1	1	1	5

Fuente: Elaborado por el autor

La valoración de ambas opciones es la misma sin embargo utilizar un módulo Wi-Fi significa la inclusión de una red sobre la cual funcione el módulo es decir un nuevo requerimiento y puesto que se obtiene el mismo resultado con ambas alternativas, se decidió finalmente la utilización del módulo HC-05.

### 3.5.7. Elección del Sistema Embebido

Es el sistema central de procesamiento al cual se conectan todos los módulos y el que contiene el programa principal con las instrucciones y condiciones que hacen funcionar a todo el sistema. Se evalúan 2 tarjetas de desarrollo muy utilizadas para proyectos electrónicos las cuales son Arduino y Raspberry sus características principales se describen en la tabla 14.

Tabla 14: Características Arduino y Raspberry Pi

Característica	Arduino	Raspberry Pi
Reloj Principal	16Mhz	1.2GHz
Tamaño de registros	8bits	32bits
RAM	2.5KB	1Gb
Flash	32KB	16Gb
GPIOs	20IO + 9, Mega (54)	40 (IO+power)
Tamaño	68,6 x 53,3 x 10	85 x56 x18
Real Time	Si	No
Consumo	0,125w	1,75w
Precio	25 \$	40 \$
Facilidad de Integración	Alta	Baja
Sistema Operativo	Posible	Obligatorio

Fuente: Tuto Electro. (2016, abril 14). Arduino o Raspberry Pi. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=i0RUXQhsI6A>

Se escoge la mejor alternativa en base a los requerimientos de sistema **SYSR18** y de arquitectura **SRS11**, **SRS5**, **SRS9**, **SRS11**. La valoración de las opciones se muestra en la tabla 15.

Tabla 15: Valoración de las opciones de sistema embebido

	Requerimientos					Valoración total
	SYSR18	SRS11	SRS5	SRS9	SRS11	
Arduino Mega	1	1	1	1	1	5
Raspberry Pi	0	1	1	1	1	4

Fuente: Elaborado por el autor

Debido a que sobre Arduino no se corre ningún sistema operativo, es mejor para aplicaciones que deben medir datos en tiempo real ya que todo el hardware está enfocado en ejecutar el programa cargado y no tiene procesos en segundo plano como ocurre en un sistema operativo, esta característica le dio más valoración y será la placa desarrolladora que se utilizará en el proyecto. Se empleará el IDE de Arduino como software de programación de este módulo.

### 3.5.8. Sistema Eléctrico

Los distintos módulos y sistemas descritos anteriormente requieren para su funcionamiento de una fuente de energía, en este caso una de corriente eléctrica. Para que la elección de este componente sea la adecuada se procede hacer una lista de todos los módulos y sistemas con sus componentes y la potencia máxima que consumirían.

En el caso del módulo de lectura se considera una potencia de 60watts aproximada ya que cada solenoide funciona a 5v y 1amper, para el módulo de escritura se considera un valor de potencia aproximado basándonos en que los interruptores trabajarían con resistencias pull-down, las demás partes tienen dispositivos de características conocidas disponibles en sus respectivas hojas de datos provistas por los fabricantes. En tabla 16 tenemos una recopilación de los elementos del proyecto y sus consumos.

Tabla 16: *Potencia de los módulos y sistemas*

<b>Módulo/Sistema</b>	<b>Componentes</b>	<b>Potencia</b>
Lectura	12 solenoides 5v 1amperio	60 watts
Escritura	72 interruptores	Máximo 0,5watt
Sintetizador de voz	Dispositivo Android	No aplica
Comunicación	HC-05	0,25watts
Sistema Embebido	Arduino Mega	Máximo 1 watt
	<b>Total, Aproximado</b>	<b>62,25watts</b>

Fuente: Elaborado por el autor

Obtenida la potencia requerida se realiza la búsqueda de fuentes de poder que cumplan con los requerimientos de potencia, de sistema **SYSR9** y de arquitectura **SRSH12**, también se considera su precio. Una buena opción que considerar son las fuentes ATX para pc de escritorio ya que proveen grandes potencias y su costo es bajo. En la tabla 17 tenemos la valoración de 3 fuentes de poder.


Tabla 17: Valoración opciones para fuente de poder

<b>Requerimientos</b>						
	<b>SYSR9</b>	<b>SRSH12</b>	<b>Potencia</b>	<b>Costo</b>	<b>Valoración total</b>	
<b>G-energy 5V 40A 200W</b>	1	0	200w	16,8	1	
<b>Ins P4-850w</b>	1	1	850w	13,5	2	
<b>Altek Slim 750w</b>	1	1	750w	11	2	

**Fuente:** Elaborado por el autor

Aunque las valoraciones de las dos fuentes ATX fueron iguales, se escoge la fuente del fabricante Altek debido a su menor costo. En tabla 18 tenemos las características del dispositivo y su ilustración.

Tabla 18: Características fuente Altek 750w





		Características	Ilustración
<b>Altek 750w</b>	<b>Slim</b>	Ventilador silencioso ATX-750W 60/50Hz 115-230V Material metal Fuente de poder: 16 - 24 pines Cable de poder de 1,5 metros Ventilador de 8 cm Con conectores sata Cable enmallado	

Fuente: Información adaptada de: Comercial Benavides. (2020). Fuente De Poder Atx Pc Computadora 750w 24 Pines Altek. Recuperado de: <https://www.comercialbenavides.net/p/accesorios-computacion-perifericos/fuentes-de-poder-atx-pc-computadora-alktek-750-watts>

### 3.5.9. Resumen hardware y software escogido

A continuación, tenemos la tabla 19 que presenta la recopilación del hardware y software escogido.

Tabla 19: Resumen Hardware y Software escogido

Módulo/Sistema	Hardware	Software	Ilustración
<b>Lectura</b>	Símbolo generador con solenoides	FreeCAD	
<b>Escritura</b>	Símbolo generador con interruptores		
<b>Sintetizador de voz</b>	Google Assistant	Aplicación Android	
<b>Comunicación</b>	Bluetooth HC-05	Comunicación Serial	



---

**Sistema  
Embebido**

Arduino Mega

IDE Arduino

---



---

**Sistema Eléctrico**

Fuente Altek 750w



---

Fuente: Modelamiento del prototipo

### ***3.5.10. Diagramas de conexión***

En este apartado veremos la disposición de pines y conexión de los componentes del sistema, pero antes se definirán algunos circuitos de control necesarios para los dos primeros módulos.

Se han escogido solenoides para formar el símbolo generador de lectura sin embargo para controlar estos dispositivos se necesita un circuito de control debido a que no es posible conectarlos directamente a Arduino por la corriente que consumen y la cual Arduino no puede proveer. Ya que cada solenoide consume 1amperio a 5voltios se utilizó una configuración de interruptor con transistor MOSFET de canal N.

La teoría nos dice que para que un transistor MOSFET pase de un estado de corte a un estado de saturación el voltaje entre la compuerta y la fuente ( $V_{gs}$ ) debe ser mayor al voltaje umbral ( $V_t$ ), caso contrario no hay conducción entre drenador y surtidor. Además, el valor de corriente máximo entre drenador y surtidor ( $I_{ds}$ ) depende también del voltaje entre drenador y surtidor y de una constante  $k_n$  propia del transistor (Boylestad & Nashelsky, 2009).

Todo se reduce entonces a superar un umbral de tensión en la compuerta, en nuestro caso particular no nos interesa controlar la corriente máxima  $I_{ds}$  u otros parámetros ya que de

todos modos el MOSFET soporta más de 1 amperio en toda su zona de saturación debido a que en realidad están pensados para soportar cargas de más de 20 o 40 amperios dependiendo del modelo. En la figura 29 tenemos el esquema de montaje de un MOSFET como interruptor.

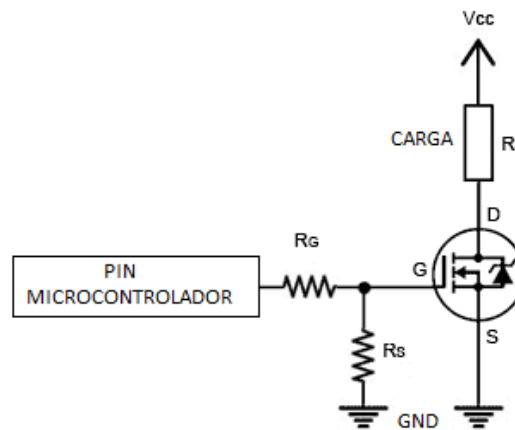


Figura 29: Diagrama de conexión de un MOSFET como interruptor

Fuente: Llamas. (2014). Controlar grandes cargas con arduino y transistor mosfet. Recuperado de: <https://www.luisllamas.es/arduino-transistor-mosfet/>

De la imagen anterior la resistencia  $R_g$  sirve para limitar la corriente de entrada y reducir el consumo en Arduino, y la resistencia  $R_s$  es para polarizar el transistor al encender el sistema.

El transistor escogido es el IRF540n entre los transistores comerciales MOSFET es uno de los que soportan menor capacidad de corriente y es muy utilizado en proyectos electrónicos. En la figura 30 calculamos  $R_g$  con la ley de ohm ( $R=V/I$ ), si tenemos como voltaje de salida del pin de Arduino 5 volts y queremos mandar una corriente de 5mA.

$$R_g = \frac{5v}{5mA} = 1000ohms$$

Figura 30: Cálculo resistencia  $R_g$  para MOSFET

Fuente: Elaborado por el autor

Entonces la resistencia a la salida del pin de Arduino será de 1kohm, respecto al valor de  $R_s$  basta con que sea mayor a  $R_g$  para polarizar el MOSFET.

Para el módulo de escritura se utilizarán interruptores con resistencias pull down, para reducir el número de pines utilizados se decide implementar al circuito registros de desplazamiento que tengan entradas en paralelo y salida en serie. Para este circuito no hay mayores cálculos que hacer, la resistencia se la puede calcular de la misma manera que en la figura 9 puesto que se utilizan los mismos valores de tensión y corriente. Se utiliza el circuito integrado 74ls165 como registro de desplazamiento cuenta con 8bits para entrada en paralelo y salida en serie, en la figura 31 se muestra su disposición de pines.

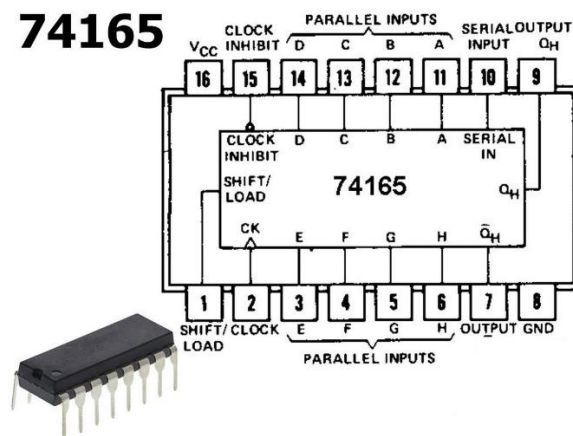


Figura 31: Disposición de pines del CI 74ls165

Fuente: MV Electrónica. (2020). 74165 registro de salida paralelo a serial de 8 bits. Recuperado de: <https://mvelectronica.com/products/74165>

El resto de los módulos y sistemas tienen maneras de conexión normadas por sus fabricantes.

### 3.5.10.1. Módulo de lectura

El módulo de lectura se compone de 12 solenoides, cada uno es controlado con la señal que un pin de Arduino envía a una resistencia de 1kohm conectada a un MOSFET, la

resistencia para polarizar el transistor es de 220kohms. En la figura 32 se muestra la conexión de un solenoide con su circuito de control y Arduino.

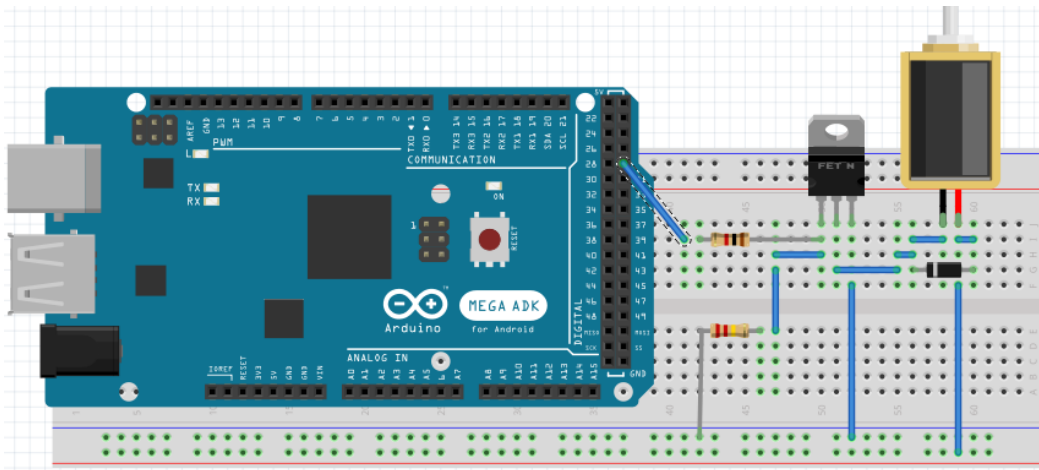


Figura 32: Conexión de Solenoide a Arduino

Fuente: Elaborado por el autor

Se necesitan entonces 12 pines de Arduino para conectar todo el módulo de lectura, cabe mencionar que la fuente para el solenoide es externa a Arduino. En la tabla 20 tenemos una lista de los pines utilizados y el componente que se conecta a estos.

Tabla 20: Disposición de pines de Arduino para conexión con los solenoides

PIN DE ARDUINO	Símbolo Generador 1	PIN DE ARDUINO	Símbolo Generador 2
8	Solenoide 1	14	Solenoide 1
9	Solenoide 2	15	Solenoide 2
10	Solenoide 3	16	Solenoide 3
11	Solenoide 4	17	Solenoide 4
12	Solenoide 5	18	Solenoide 5
13	Solenoide 6	19	Solenoide 6

Fuente: Elaborado por el autor

También se reservan 3 pines adicionales para conectar pulsadores que sirvan como botones de control, la tabla 21 muestra los pines reservados.

Tabla 21: Disposición de pines en Arduino para los botones de selección

PIN DE ARDUINO	Teclado selección
2	botón 1
3	botón 2
4	botón 3

Fuente: Elaborado por el autor

### 3.5.10.2. Módulo de escritura

Para la conexión de los símbolos generadores de escritura se muestra la conexión individual de un signo de seis puntos utilizando un circuito integrado 74ls165 en la figura 33.

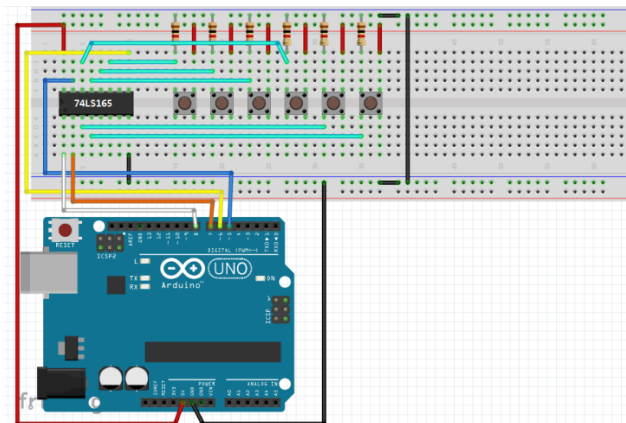


Figura 33: Conexión de un símbolo generador de escritura

Fuente: Elaborado por el autor

El propósito de usar el circuito integrado 74ls165 es principalmente el ahorro de pines, con una configuración de registros de desplazamiento en cascada se pueden apilar hasta 8 CI 74ls165 uniendo los pines de clock y load de cada uno y la salida en serial con la entrada en serial del siguiente como se observa en la figura 34.

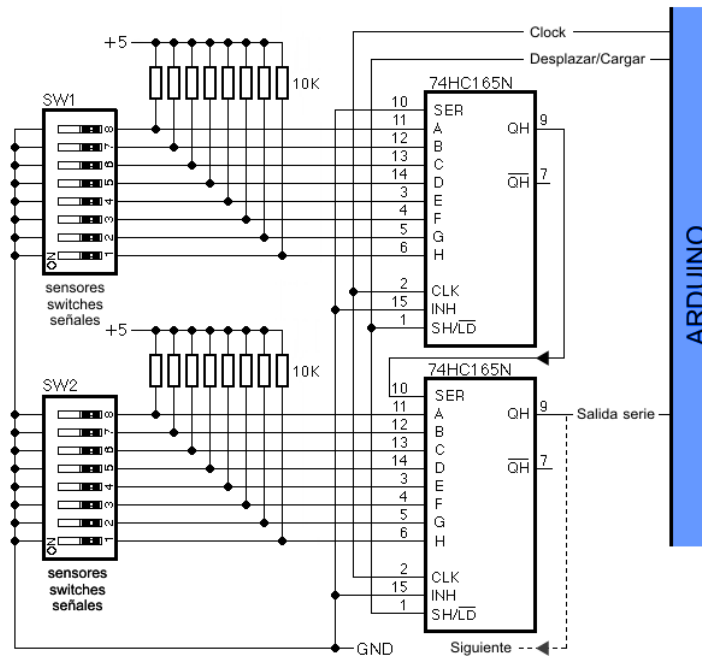


Figura 34: Configuración de CI 74165 en cascada

Fuente: Robots Didácticos. (2019). Ampliar la cantidad de entradas de Arduino. Recuperado de: <http://robots-argentina.com.ar/didactica/wp-content/uploads/post-197-135135493649.png>

De esta manera se utilizan solo 3 pines en Arduino para leer hasta 64 pines digitales. El proceso de lectura no es al instante, pero es mejor que utilizar un pin por cada switch utilizado. En la tabla 22 se muestra la conexión del módulo de escritura con su pin correspondiente de Arduino.

Tabla 22: Disposición de pines de Arduino para conexión con CI 75ls165

PIN DE ARDUINO	CI 74165 de final de la cascada
5	data
6	load
GND	enable
7	clock

Fuente: Elaborado por el autor

### 3.5.10.3. Módulo de comunicación y sintetizador de voz

El módulo hc-05 se conecta a una alimentación de 3.3v a 5v con sus pines VCC y GND, el pin TX del módulo se conecta al pin RX de Arduino y el pin RX a TX de Arduino como se muestra en la figura 35.

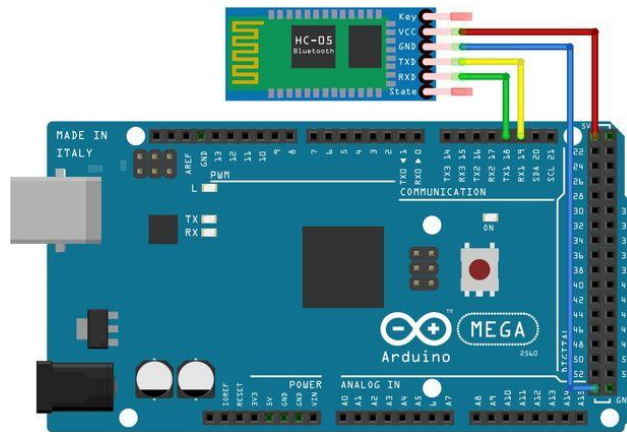


Figura 35: Conexión módulo HC-05 con Arduino Mega

Fuente: Elaborado por el autor

La conexión del sintetizador de voz mediante bluetooth al módulo hc-05 se realiza mediante una interfaz en el dispositivo móvil que debe ser programada.

## 3.6. Diseño Lógico

Una vez escogido el hardware y software, el proyecto pasa a la etapa final del nivel 3 propuesto en el modelo en V, el diseño lógico. En la tabla 23 se presenta un resumen del funcionamiento del prototipo.

Tabla 23: Descripción de funcionamiento del prototipo

OPCIÓN	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES
<b>Configuración inicial</b>	Antes de iniciar la interacción con el usuario, el sistema se conecta al dispositivo Android.	Este proceso debe ser imperceptible para el usuario
<b>Menú principal</b>	Permite al usuario escoger entre una lista de opciones que incluyen solicitar la escritura de un carácter	Las opciones podrán ser elegidas mediante la pulsación de botones físicos

	en braille y hacer ejercicios de escritura	
<b>Opción: Solicitar un carácter</b>	El usuario puede nombrar un carácter con la voz y el sistema lo reproduce en un signo generador con relieve	El carácter solicitado se presenta con un signo adicional indicando si es letra o número, no se pueden representar caracteres especiales
<b>Opción: Ejercicios de escritura</b>	El sistema representa de modo audible las palabras o letras que el usuario ingresa en el módulo de escritura	El sistema reproduce el audio si está formada por caracteres braille, sino reproduce un mensaje de error.

Fuente: Elaborado por el autor

### 3.6.1. Menú principal

El menú muestra las diferentes opciones con las que cuenta el dispositivo, en la figura 36 tenemos su diagrama de flujo.

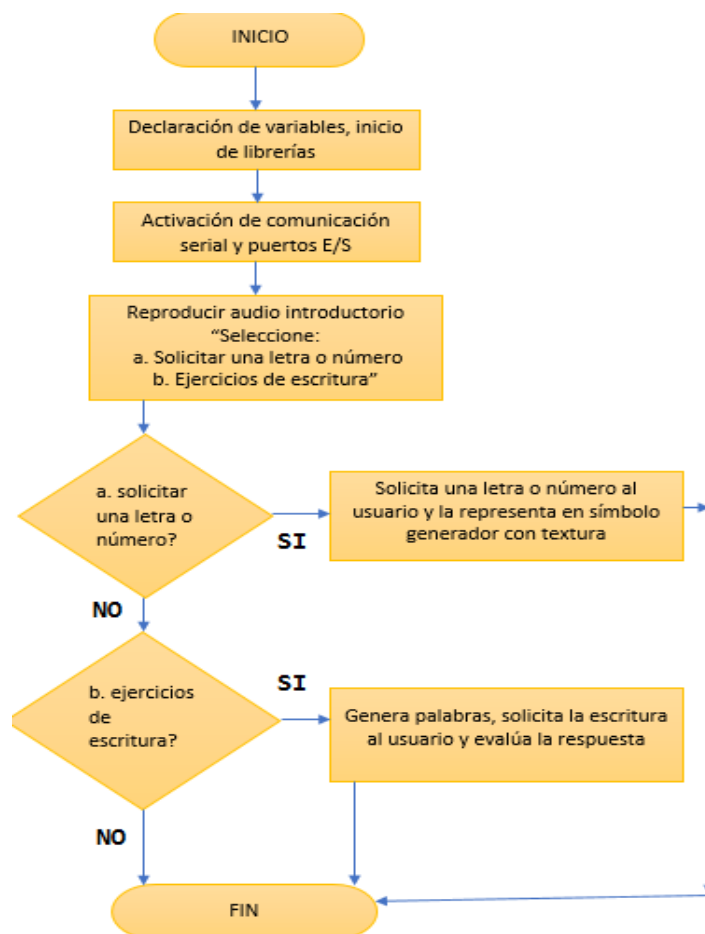


Figura 36: Diagrama de flujo del menú principal

Fuente: Elaborado por el autor



### 3.6.2. Proceso: solicitar un carácter

Este proceso constituye la primera opción que puede elegir el usuario, el sistema representa cualquier carácter válido que indique el usuario. En la figura 37 tenemos el diagrama de flujo de este proceso.

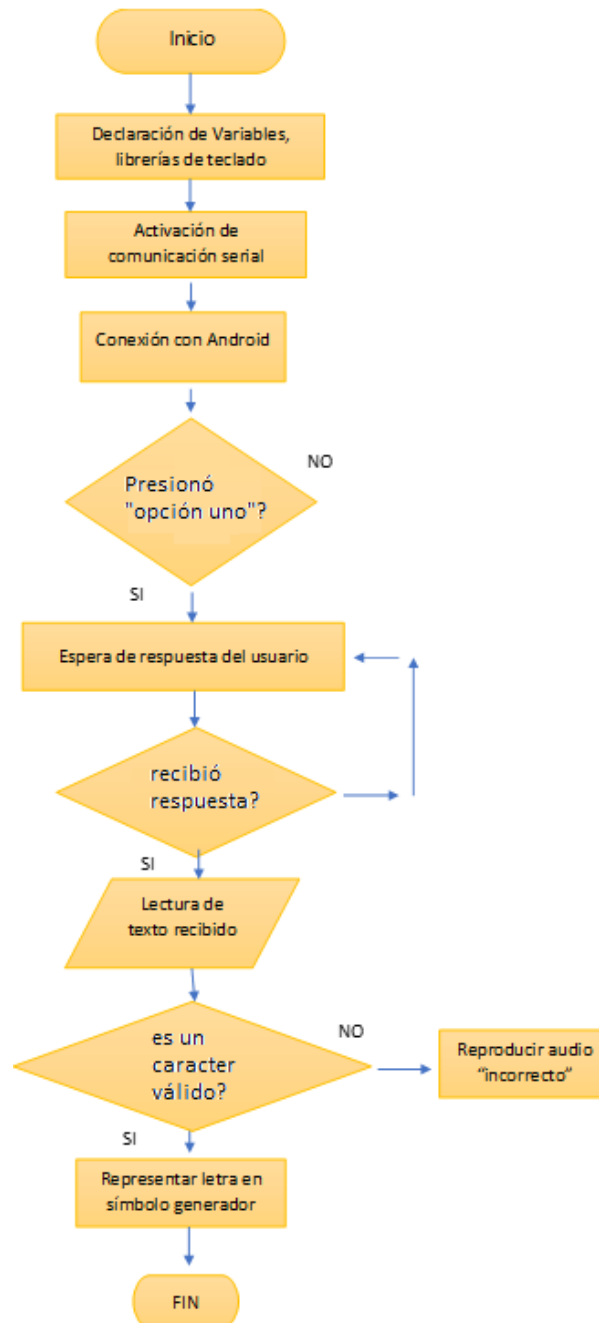


Figura 37: Diagrama de flujo proceso: solicitar un carácter

Fuente: Elaborado por el autor

### 3.6.3. Proceso: ejercicios de escritura

Es la segunda opción que puede elegir el usuario, el sistema reproduce en audio lo que el usuario escribe en el módulo de escritura, indica si hay un error. A continuación, en la figura 38 se presenta su diagrama de flujo.

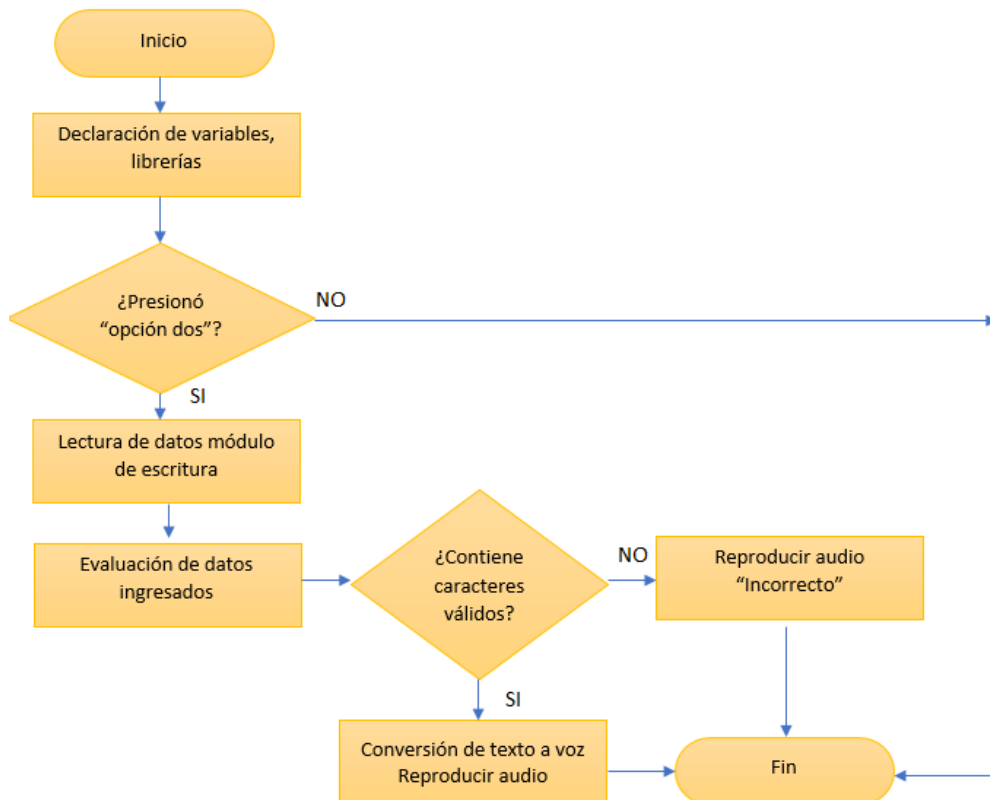


Figura 38: Diagrama de flujo proceso: ejercicios de escritura

Fuente: Elaborado por el autor

## Capítulo IV. Construcción

Este capítulo se centra en la construcción del prototipo y la documentación del proceso, se realizará la construcción del prototipo según los requerimientos y componentes de hardware y software elegidos en el diseño. Se explicará la construcción de los circuitos y estructuras por módulos, además se describirá la aplicación Android y su funcionamiento.

### 4.1. Esquema Electrónico Del Sistema

Primero se presenta una proyección del prototipo a construir, mostrando una pequeña descripción de los módulos, su ubicación en la estructura y la forma física que se espera conseguir. Esto lo tenemos en la figura 39.

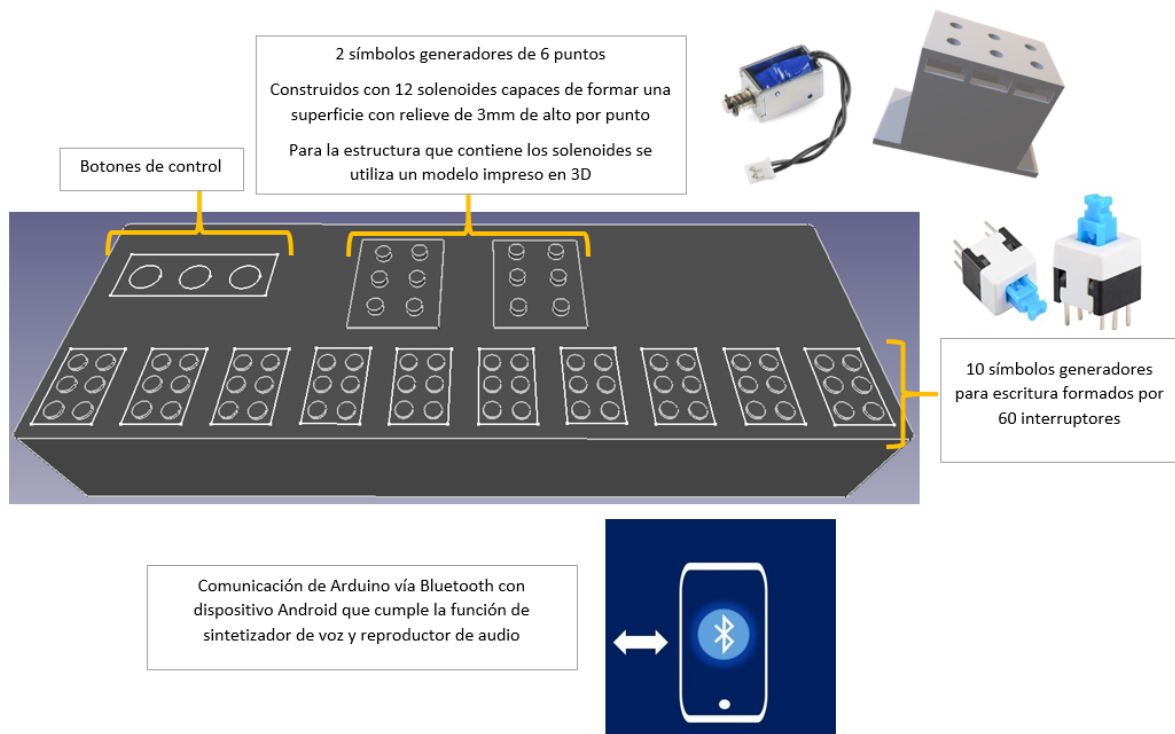


Figura 39: Proyección del prototipo a construir

Fuente: Elaborado por el autor

Los circuitos se construirán por partes explicando su procedimiento y conexión. En la figura 40 tenemos el diagrama de circuito.



## 4.2. Diseño Y Construcción De Las Tarjetas PCB

Tomando en cuenta el circuito para el módulo de lectura descrito en la parte de diseño, se realiza el esquema de pistas en el software Fritzing, en una placa se distribuyen los 6 transistores y conectores para sus respectivos solenoides además de bornes para conectar la fuente de poder y salidas hacia el microcontrolador. En la figura 41 tenemos el diseño del PCB para el módulo de lectura y en la figura 42 tenemos la distribución de componentes en la tarjeta.

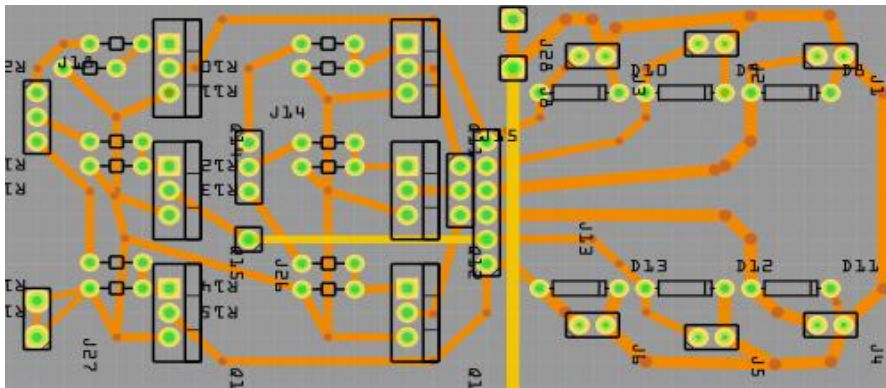


Figura 41: Diseño tarjeta PCB del módulo de lectura

Fuente: Elaborado por el autor

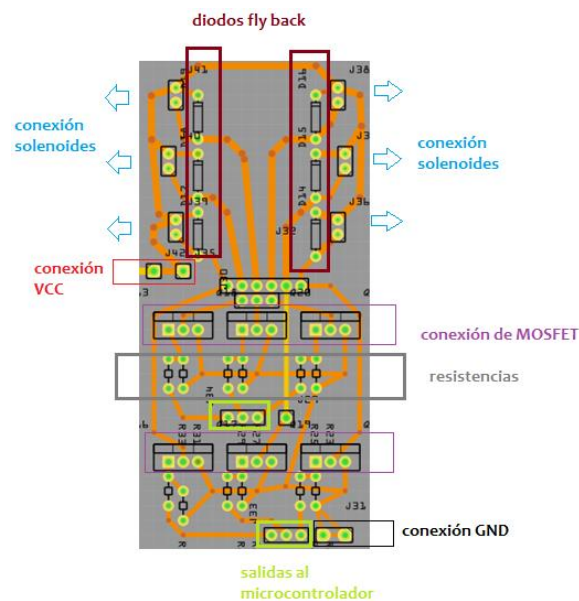


Figura 42: Distribución de componentes en el PCB del módulo de lectura

Fuente: Elaborado por el autor

Para su construcción se utilizó uno de los servicios en línea de ensamblaje de PCBs con el fin de comprobar la calidad del producto y tenerlo en cuenta para proyectos futuros, concretamente se utilizó el servicio de jlcpcb.com, basta con subir el diseño en formato Gerber y elegir las características que se requieren como el color, el número de tarjetas, el material de las pistas, entre otros, como se observa en la figura 43.

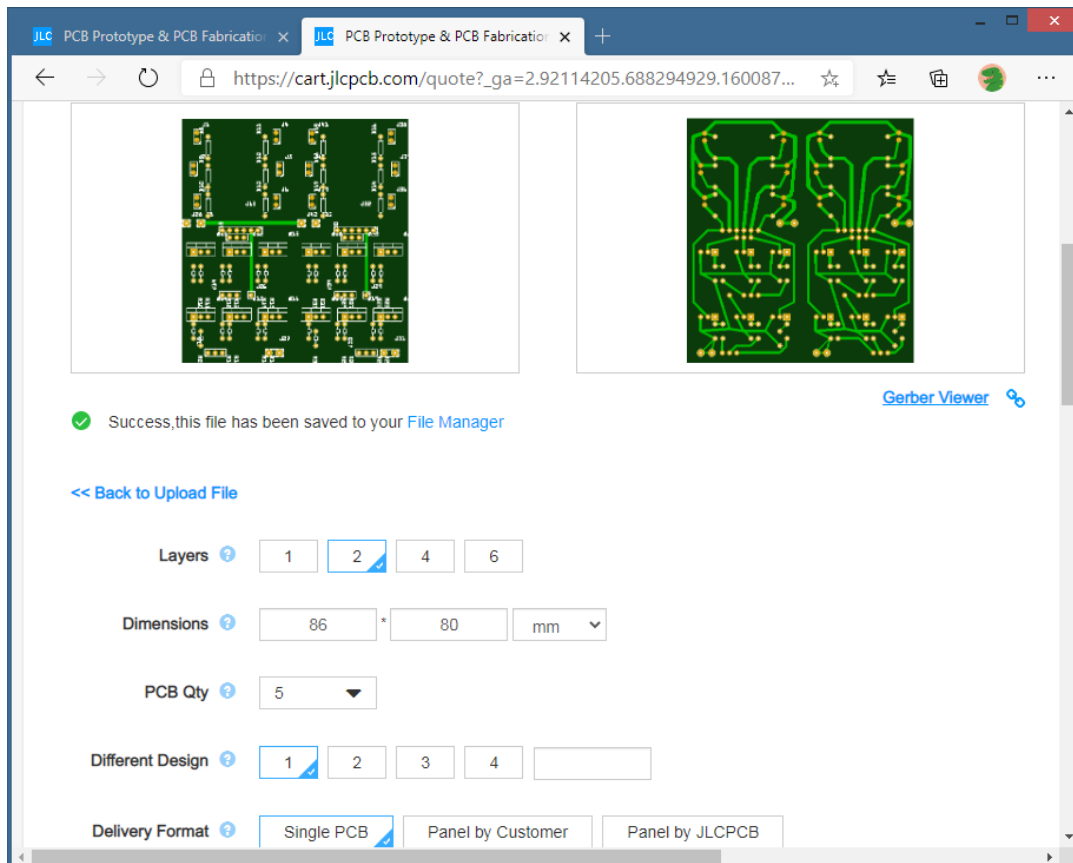


Figura 43: Pedido de PCB en la plataforma jlcpcb

Fuente: Elaborado por el autor

Lo más interesante del servicio es que admite la fabricación de PCBs de hasta 6 capas lo cual resulta útil para miniaturizar los circuitos. Es un buen servicio si se está dispuesto a esperar el tiempo de envío, la construcción del producto tarda de 1 a 2 días mientras que el envío depende de cada país. Como resultado tenemos una tarjeta de buena calidad con anillos

para soldar en ambos lados y cubierta con pintura no conductora como se observa en la figura 44.

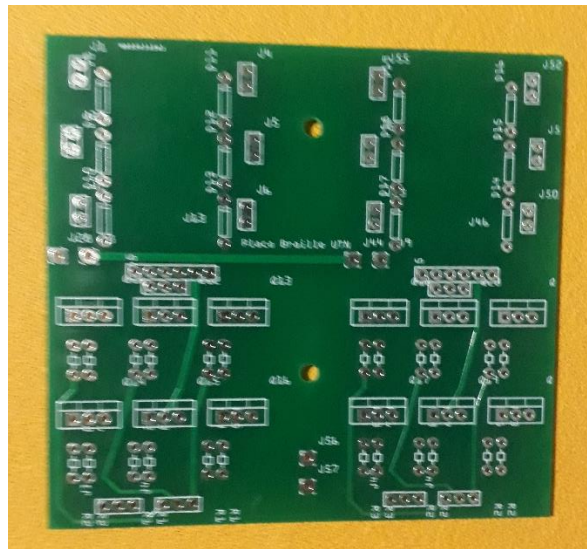


Figura 44: Tarjeta del módulo de lectura construida con jlpcpb

Fuente: Elaborado por el autor

Ahora procedemos a soldar los componentes en la tarjeta como se observa en la figura 45.



Figura 45: Tarjeta del módulo de escritura con sus componentes soldados

Fuente: Elaborado por el autor

Para el módulo de escritura se construye la tarjeta en dos partes, debido al tamaño del circuito, de igual manera tomamos como referencia el circuito definido en el capítulo de diseño, por la complejidad de las conexiones recurrimos a jumpers para no ampliar más la extensión de la tarjeta. En la figura 46 tenemos el diagrama de pistas del PCB para el módulo de escritura, y en la figura 47 la segunda tarjeta.

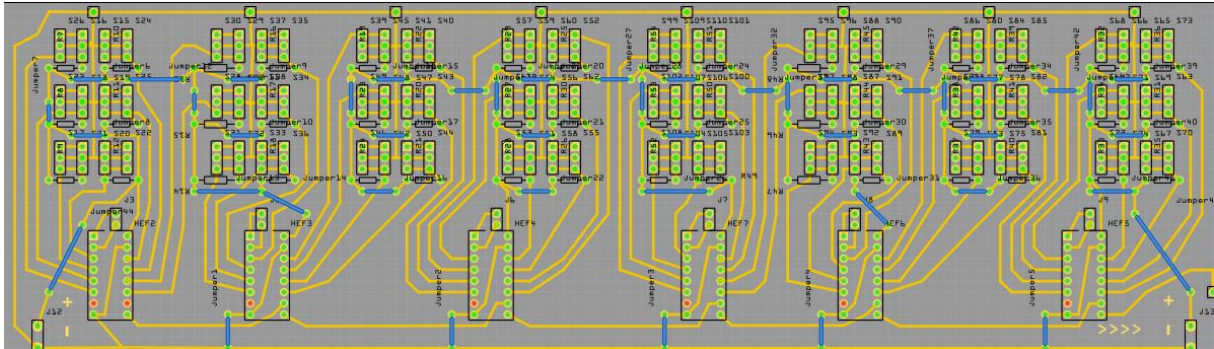


Figura 46: Diseño PCB del módulo de escritura

Fuente: Elaborado por el autor

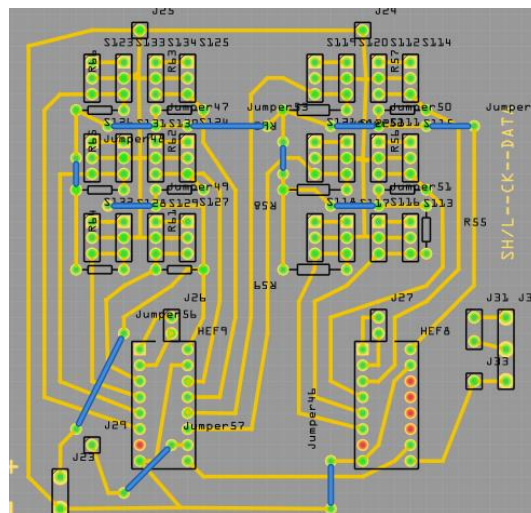


Figura 47: Diseño PCB del módulo de escritura-segunda tarjeta

Fuente: Elaborado por el autor

Para su fabricación empleamos el método de fabricación casera de PCBs, primero se imprimen las pistas en papel foto y pasamos estas pistas con calor a una baquelita, luego se



aplica Ácido Cloruro Férrico para dejar las pistas de cobre y preparar la placa para perforar y soldar. Este proceso se observa en la figura 48.



Figura 48: Proceso de construcción de la tarjeta para el módulo de escritura

Fuente: Elaborado por el autor

Luego de perforar la tarjeta se procede a realizar la soldadura de los componentes. En la figura 49 tenemos el PCB del módulo de escritura con sus componentes soldados

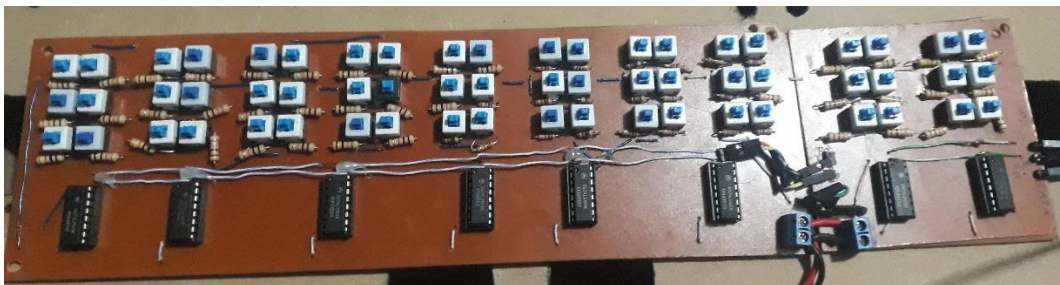


Figura 49: Tarjeta del módulo de escritura con sus componentes soldados

Fuente: Elaborado por el autor

Se construye un PCB adicional para la conexión del HC-05 y para añadir un registro de desplazamiento serial-paralelo que controle el circuito del módulo de lectura, el proceso para su construcción es el mismo que para el módulo de escritura, en la figura 50 tenemos la tarjeta construida y en la figura 51 el PCB con sus componentes soldados.

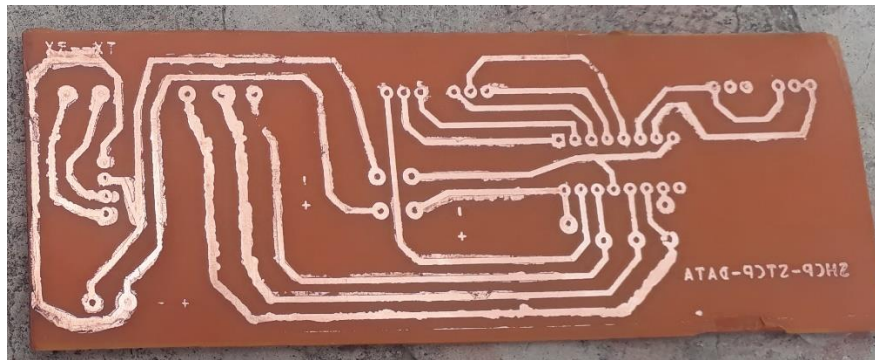


Figura 50: Tarjeta PCB para conexión de módulo HC-05 e IC 74595

Fuente: Elaborado por el autor

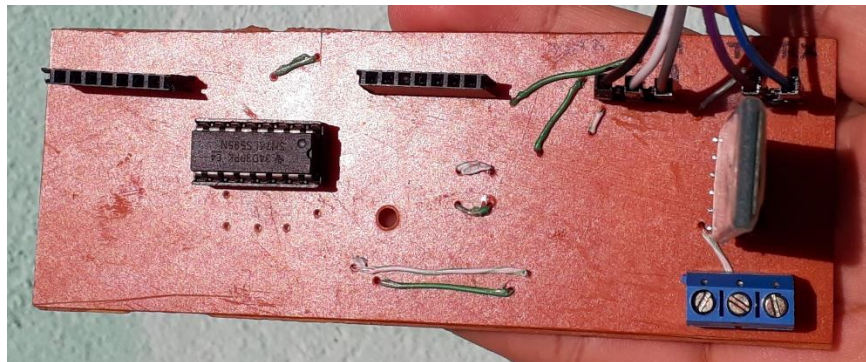


Figura 51: Tarjeta PCB para conexión de módulo HC-05 e IC 74595 con componentes soldados

Fuente: Elaborado por el autor

### 4.3. Desarrollo De La Aplicación Android

La aplicación para conectar el módulo de comunicación con el microcontrolador fue desarrollada en AppInventor, una plataforma de acceso libre para programación de aplicaciones en forma visual. De manera sencilla las dos funciones de la aplicación son:

primero convertir la voz del usuario a texto y enviarla a Arduino y la segunda es reproducir el texto que envía Arduino. En la figura 52 tenemos la pantalla de la aplicación.

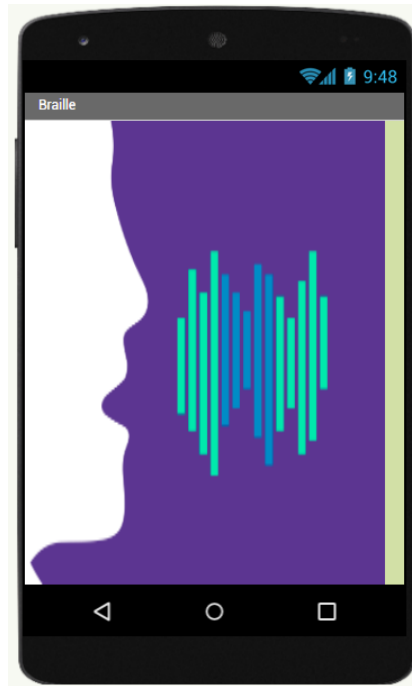


Figura 52: Vista de la aplicación Android

Fuente: Elaborado por el autor

Cuenta con un único botón distribuido en toda la pantalla ya que la única interacción táctil que el usuario realizará con el dispositivo es la de presionar para preguntar la escritura de una letra o número. En la tabla 24 tenemos un resumen de las tareas que realiza la aplicación.

Tabla 24: *Funciones de la aplicación Android*

<b>FUNCIONES DE LA APLICACIÓN</b>	
<b>Función</b>	<b>Descripción</b>
Mensaje de instrucciones iniciales	Al abrirse la aplicación reproduce un mensaje instructivo: "Menú principal: presione la pantalla para solicitar un número o letra, ejemplo: letra a, número 5, escriba una palabra en el módulo de escritura y al finalizar presione el botón del extremo izquierdo para solicitar la lectura"
<b>Transformación de voz a texto</b>	Al presionar en la pantalla la aplicación transforma lo que escucha a texto y lo envía al microcontrolador

---

<b>Reproducción de audio</b>	Cuando la aplicación recibe "c" (correcto) o "i" (incorrecto) reproduce el audio respectivo
------------------------------	---

---

Fuente: Elaborado por el autor

#### 4.4. Construcción De La Carcasa

La carcasa se construyó en madera al ser un material barato, fácil de conseguir sencillo de modelar. Tiene una forma rectangular alargada con un orificio en la parte superior para poner una tapa. En la figura 53 tenemos la carcasa y sus dimensiones.



Figura 53: Carcasa rectangular y sus dimensiones

Fuente: Elaborado por el autor

En la tapa de la carcasa se añadieron agujeros para que sobresalgan los pulsadores que forman el módulo de escritura y los solenoides que forman el número de lectura. En la figura 54 tenemos la tapa construida.



Figura 54: Tapa de la carcasa

Fuente: Elaborado por el autor

Con el fin de dar un aspecto más estético se realiza el pintado de las estructuras en color negro como se observa en las figuras 55 y 56.



Figura 55: Pintado de la carcasa

Fuente: Elaborado por el autor



Figura 56: Pintado de la tapa de la carcasa

Fuente: Elaborado por el autor

También se construyó una caja que contenga la fuente de poder con agujeros para ventilación, el switch y salida de cables, de igual manera se realizó el pintado de la estructura como se observa en la figura 57.



Figura 57: Carcasa de la fuente pintada

Fuente: Elaborado por el autor

Se introduce la fuente y se cierra la estructura como se observa en la figura 58.



Figura 58: Ensamblaje de la carcasa en la fuente

Fuente: Elaborado por el autor

#### 4.5. Ensamblaje Y Conexión

Para el ensamblaje empezamos atornillando el contenedor de los solenoides a la tapa de la carcasa como se observa en la figura



Figura 59: Atornillado de los solenoides a la tapa de la carcasa

Fuente: Elaborado por el autor

Las placas que contiene el CI 74595 se puede unir con la placa del módulo de lectura, el siguiente paso es unir las como se muestra en la figura 60.

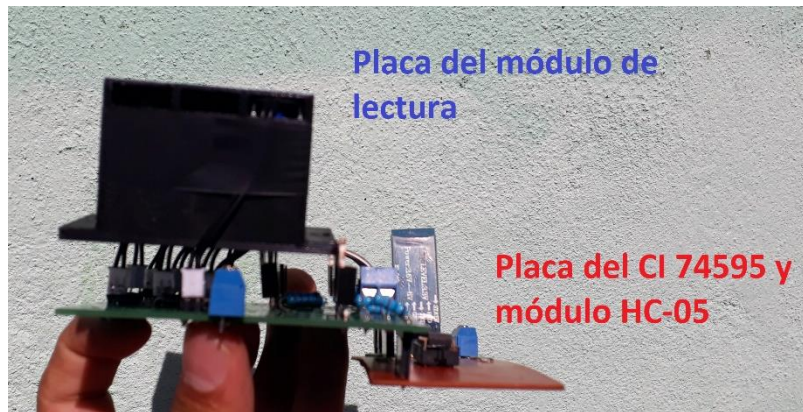


Figura 60: Unión placas módulo de lectura y placa CI74595 Y HC-05

Fuente: Elaborado por el autor

Ahora realizamos el atornillado de la placa del módulo de escritura a la tapa de la carcasa como se observa en la figura 61.

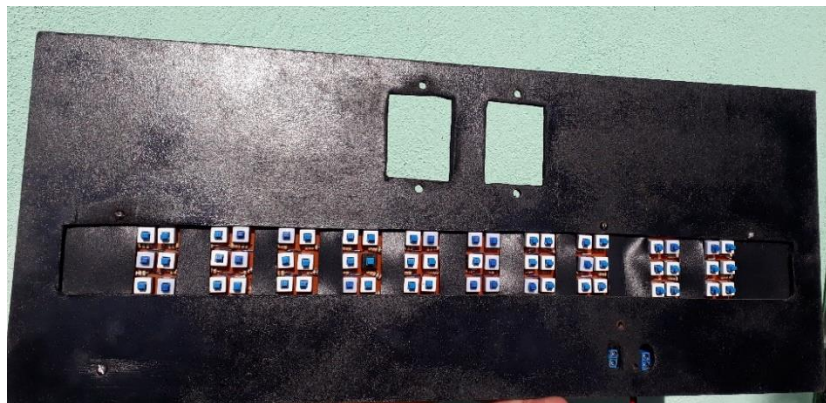


Figura 61: Módulo de escritura atornillado en la tapa de la carcasa

Fuente: Elaborado por el autor



Con todo debidamente atornillado y sujetado falta la conexión al microcontrolador para lo cual identificamos los pines en las tarjetas, de la tarjeta que contiene los interruptores sobresalen 3 pines, más los pines de fuente como se observa en la figura 62.

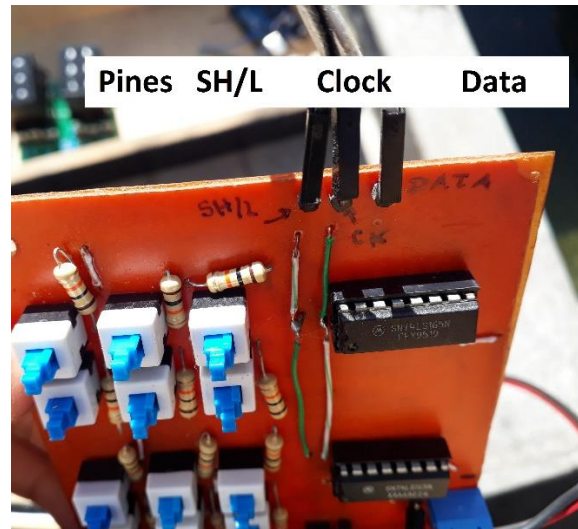


Figura 62: Pines para conexión de la placa del módulo de escritura

Fuente: Elaborado por el autor

Estos pines van conectados a Arduino como lo indica la tabla 25.

Tabla 25: *Conexión PCB módulo de lectura con Arduino*

<b>Conexión PCB módulo de lectura con Arduino</b>	
<b>Placa</b>	<b>Arduino</b>
SH/L	2
Clock	3
Data	4

Fuente: Elaborado por el autor

De la placa que se conecta al módulo de lectura sobresalen 5 pines, más los pines de fuente que se observan en la figura 63.

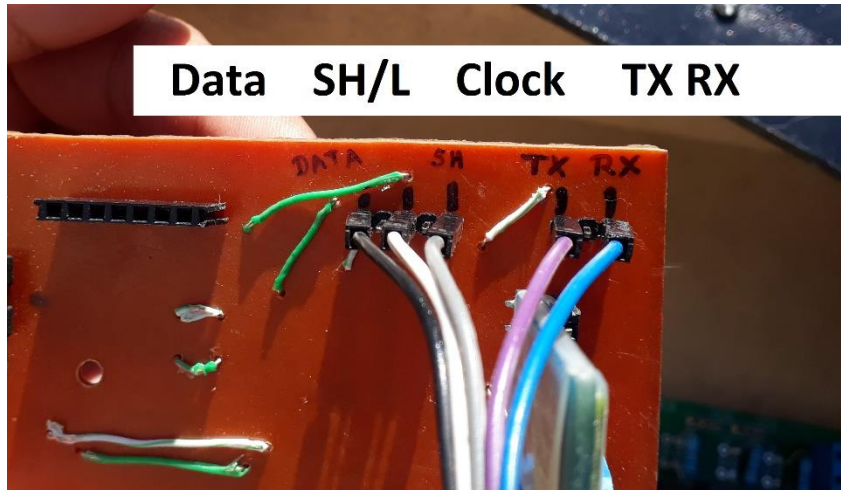


Figura 63: Pines de conexión de la tarjeta que contiene CI 74595

Fuente: Elaborado por el autor

La conexión de estos pines con Arduino se describe en la tabla 26

Tabla 26: *Conexión placa CI 74595 con Arduino*

<b>Conexión Placa-Arduino</b>	
<b>Placa</b>	<b>Arduino</b>
Data	8
SH/L	9
Clock	10
TX	RX (0)
RX	TX (1)

Fuente: Elaborado por el autor

Finalmente, de la placa del módulo de lectura no sobresale ningún pin solo los de fuente como se observa en la figura 64

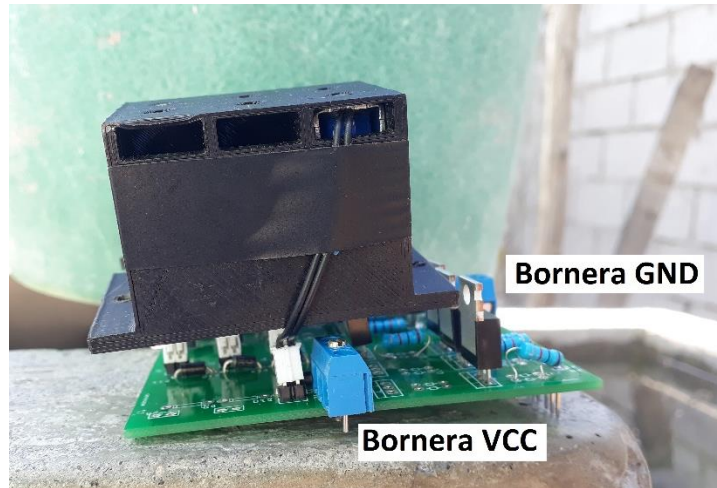


Figura 64: Pines de conexión del módulo de lectura

Fuente: Elaborado por el autor

De la fuente tenemos 4 cables a la salida cada uno con su color característico cuyo significado se describe en la figura 65.

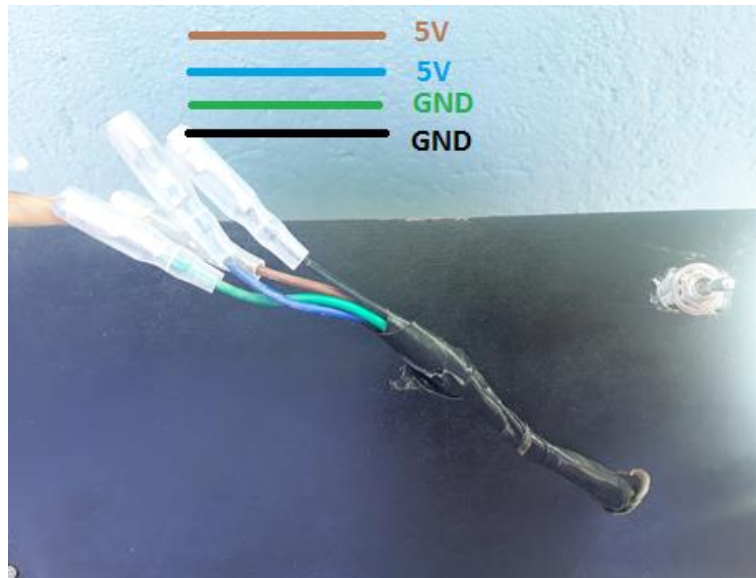


Figura 65: Voltaje en cables de la fuente

Fuente: Elaborado por el autor

Y se realiza la conexión respetando los colores entre la fuente y el prototipo como se observa en la figura 66.



Figura 66: Conexión de la fuente con el prototipo

Fuente: Elaborado por el autor

Evidentemente los cables que sobresalen de la carcasa están conectados a los componentes del prototipo mediante cables y empalmes. En la figura 67 tenemos la vista posterior de la tapa del prototipo donde están anclados los circuitos con sus conexiones realizadas y la vista frontal del prototipo en la figura 68.

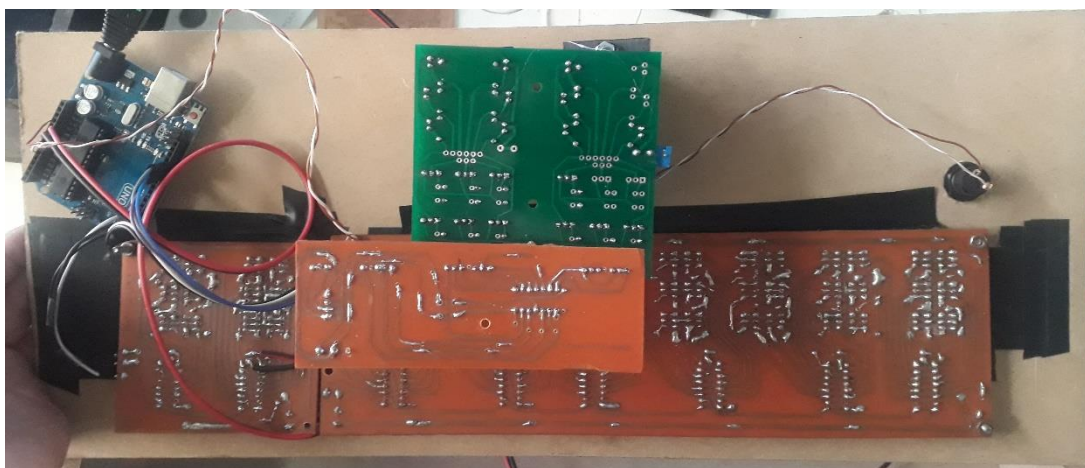


Figura 67: Vista interna del prototipo

Fuente: Elaborado por el autor

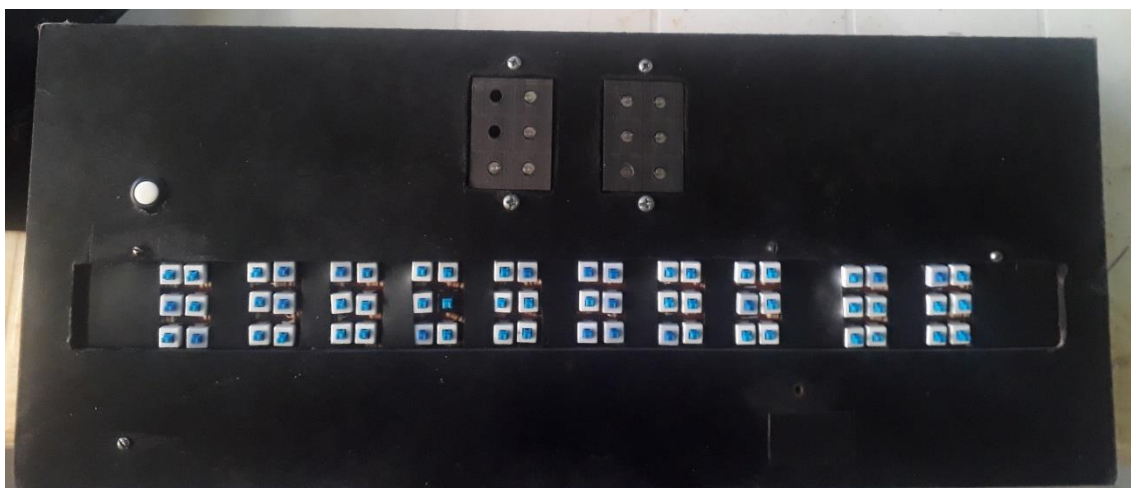


Figura 68: Prototipo construido vista frontal

Fuente: Elaborado por el autor

Lo que sigue es realizar las pruebas de funcionamiento para corroborar que el proyecto fue construido adecuadamente y funciona para su fin, lo cual se tratará en el siguiente capítulo.

#### 4.6. Costo del Prototipo

Habiendo terminado el armado del prototipo se presenta a continuación en la tabla 27 los componentes utilizados su costo unitario y total.

Tabla 27: *Tabla de costos del prototipo construido*

<b>TABLA DE COSTOS</b>				
#	Elemento	Cantidad	Valor unitario	Valor total
1	símbolos generadores de lectura	2	18,6	37,2
2	interruptores	60	0,5	30
3	pulsadores	2	0,5	1
4	fuelle de poder	1	11	11
5	estructura de madera	1	25	25
6	Placa Arduino	1	9,8	9,8
7	PCB comprado	1	5	5
8	Baquelita, ácido, impresión	1	5	5
9	Pintura	1	1,5	1,5
10	Cables, cintas, tornillos, etc.	1	2	2
11	Módulo hc-05	1	6	6
12	Resistencias	60	0,1	6

<b>13</b>	Circuitos integrados	9	1,5	13,5
<b>14</b>	Sócalos, espadines, etc.	12	0,5	6
<b>15</b>	Dispositivo Android	1	100	100
			<b>TOTAL</b>	259

Fuente: Elaborado por el autor

En la tabla anterior no se tomó en cuenta el costo del software utilizado al ser en su totalidad software libre. El costo final no se puede comparar con algo similar disponible en el mercado porque no hay algún instrumento o herramienta a la venta que cumpla con las mismas funciones, pero si lo comparamos con el costo de una máquina Perkins o un teclado braille por ejemplo obtenemos como resultado que el prototipo construido resulta más barato y accesible.

## Capítulo V. Pruebas De Funcionamiento

Las pruebas de funcionamiento constituyen la parte final en la metodología del modelo en V, este punto se basa en la verificación o validación de la implementación, arquitectura, funciones, requisitos y especificaciones previamente establecidas en el diseño. Si bien las pruebas de funcionamiento fueron realizadas al finalizar cada fase del proceso metodológico, se muestran todas juntas en este capítulo con el fin de presentar la información organizada.

### 5.1. Descripción De Pruebas A Realizar

Los tipos de prueba a realizar están dispuestos para cada uno de los niveles del modelo en V, la tabla 28 muestra la descripción de estas por fases y los resultados que se esperan.

Tabla 28: Descripción de las pruebas de funcionamiento

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO		
TIPO DE PRUEBA	Descripción	Resultados esperados
Fase 1: Pruebas de Especificaciones	Lista de comprobación de las características del prototipo establecidas en los requerimientos operacionales y de usuario	Se espera comprobar la existencia de los requerimientos de stakeholders
Fase 2: Pruebas de Funcionalidad	Comprobación del funcionamiento de los módulos que componen el sistema	Se espera comprobar los requerimientos de sistema
Fase 3: Pruebas de Diseño	Comprobación de las características físicas, estructuras, memoria, hardware y software	Se espera comprobar los requerimientos de arquitectura

Fase 4: Pruebas de Implementación	Realización de pruebas con usuarios	Se espera comprobar que el dispositivo funcione para el aprendizaje del lenguaje braille
-----------------------------------	-------------------------------------	--

Fuente: Elaborado por el autor

## 5.2. Pruebas De Especificaciones

Estas pruebas consisten en verificar la existencia de los requerimientos de stakeholders, para lo cual se realiza un listado de algunas de las características que tiene el prototipo y el requerimiento que comprueba, esto lo tenemos en la tabla 29.

Tabla 29: Validación de requerimientos de Stakeholders

TABLA DE VALIDACIÓN DE REQUERIMIENTOS DE STAKEHOLDERS									
CARACTERÍSTICA	REQUERIMIENTOS								
	STSR1	STSR2	STSR3	STSR4	STSR5	STSR6	STSR7	STSR8	STSR9
Sistema eléctrico: Fuente de poder	x								
Módulo de reconocimiento de voz: Google Assistant		x	x		x				
Módulo de lectura: signos generadores con solenoides				x		x		x	
Módulo de escritura: signos generadores con interruptores				x			x	x	x

Fuente: Elaborado por el autor

Adicional a esto para cumplir el requerimiento STSR7 el cual se refiere a la forma que deben tener los puntos de los símbolos generadores de escritura, se dio la forma a los interruptores como se observa en la figura 69.



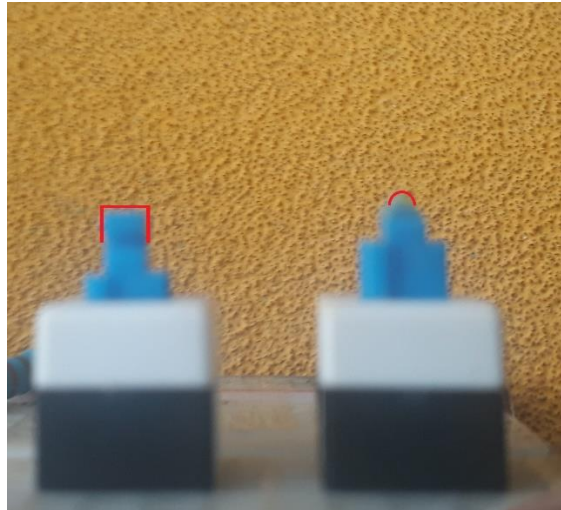


Figura 69: Adecuación de forma circular en pulsadores

Fuente: Elaborado por el autor

### **5.3. Pruebas De Funcionalidad**

Para verificar la practicidad y utilidad se realizaron pruebas de los módulos que componen el sistema con el fin de comprobar las conexiones, lectura e interpretación de datos y comunicación, es decir los requerimientos de sistema establecidos en el diseño.

#### **5.3.1. Pruebas del módulo de lectura**

Para esta prueba se conectó el microcontrolador al computador y se enviaron caracteres por comunicación serial para verificar que son interpretados, procesados por el programa e interpretados por el módulo de lectura. Esta actividad comprueba los requerimientos de sistema SYSR3, SYSR6 y SYSR12. Como resultado tenemos una correcta activación de los puntos en el módulo como se observa en la figura 70.



Figura 70: Prueba de activación de puntos en el módulo de lectura

Fuente: Elaborado por el autor

El código utilizado para la activación de los solenoides lo podemos observar en a figura 71.

```
1 #include <ShiftIn.h>
2 byte datos;
3 void setup() {
4   pinMode(3,OUTPUT); // clock 74ls595
5   pinMode(4,OUTPUT); // registro 74ls595
6   pinMode(2,OUTPUT); // datos 74ls595
7 }
8 void loop() {
9   datos= B10000000;
10  shiftOut(10,8,MSBFIRST,datos);
11  digitalWrite(9,HIGH);
12  digitalWrite(9,LOW);
13 }
```

Figura 71: Código para realizar pruebas en el módulo de lectura

Fuente: Elaborado por el autor

### 5.3.2. Pruebas del módulo de escritura

Esta actividad comprueba los requerimientos de sistema SYSR2, SYSR6, SYSR13 y SYSR14. La prueba consiste en hacer la lectura de todos los interruptores que componen el módulo mediante comunicación serial, para lo cual se conectó el microcontrolador al computador y teniendo los interruptores alternados se subió y ejecutó el programa que se observa en la figura 72.

```
1 #include <ShiftIn.h>
2 ShiftIn<8> shift;
3 void setup() {
4   Serial.begin(9600);
5   // pLoadPin (SH/LD = 3), clockEnablePin (CLK INB = 19),
6   // dataPin (SER = 4), clockPin (CLK = 2)
7   // si bien la libreria usa 4 pines solo usamos 3
8   // no hace falta usar CLK INB en el circuito, va a GND
9   shift.begin(3, 19, 4, 2);
10  // SH/L, GND, DATA, CLK
11 }
12 void displayValues() {
13   for(int i = 0; i < shift.getDataWidth(); i++)
14     Serial.print( shift.state(i) ); // obtiene el estado de la entrada i
15   Serial.println();
16   Serial.println(shift.getDataWidth());
17 }
18 void loop() {
19   shift.update();//actualizar lectura
20   displayValues();//imprimir lectura
21   delay(5000);
22 }
```

Figura 72: Código para realizar pruebas en el módulo de escritura

Fuente: Elaborado por el autor

El programa toma los datos arrojados por los 8 registros de desplazamiento que forman el módulo de escritura y los imprime en comunicación serial, como cada circuito integrado puede realizar la lectura de 8 pines, en la lectura final aparecen 64 pines de los cuales 4 no son utilizados, esto se observa en la figura 73.

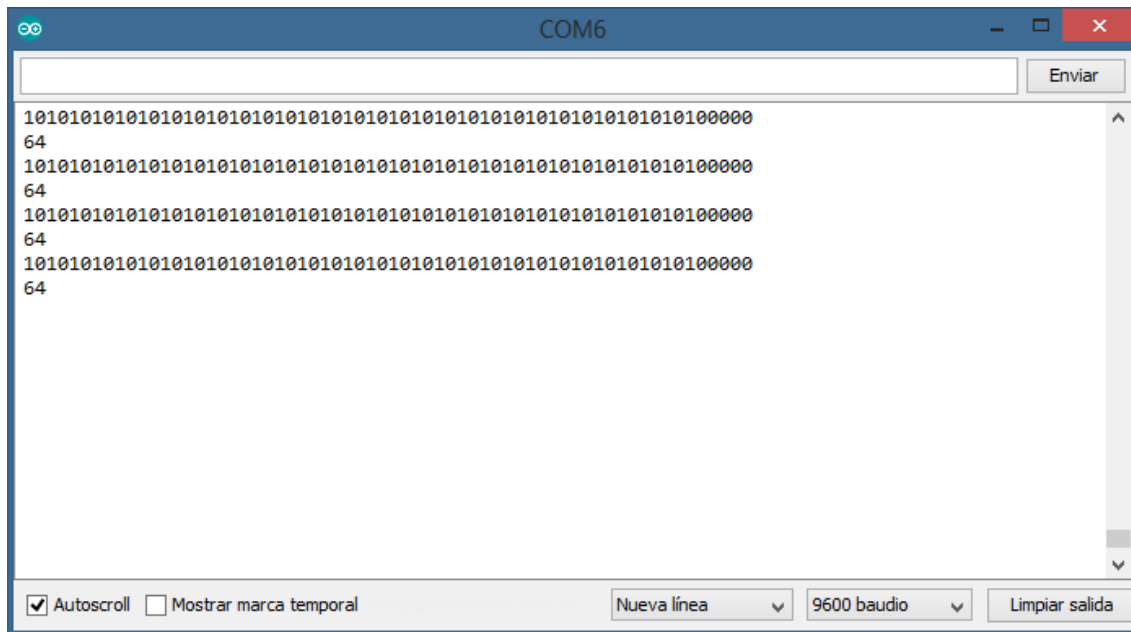


Figura 73: Lectura de pines del módulo de escritura utilizando comunicación serial

Fuente: Elaborado por el autor

### 5.3.3. Pruebas del módulo de comunicación y sintetizador de voz

Los dos módulos que intervienen en esta prueba convergen en la aplicación para Android desarrollada para este proyecto, la aplicación cumple con la función de dar las indicaciones iniciales al usuario, e interactuar con él mediante reproducción de audio e interpretación de voz. Esto en conjunto comprueba los requerimientos: SYSR1, SYSR4, SYSR5, SYSR8 y SYSR15.

### 5.4. Pruebas De Diseño Lógico Y Estructura

Estas pruebas pretenden comprobar los requerimientos de arquitectura establecidos en el capítulo de diseño, se revisan la utilización de memoria, la compatibilidad, los puertos de comunicación y las estructuras físicas del prototipo dejando de lado los requerimientos obvios implícitos en el sistema.

Tanto Arduino como el módulo HC-05 trabajan con comunicación secuencial, es decir bit a bit sobre un bus o canal de datos, generalmente estos dos componentes juntos son

empleados para elaboración de proyectos por su compatibilidad, esta característica comprueba los requerimientos SRS1 y SRS2. Adicional a esto para constatar la fiabilidad del reconocimiento de voz en la aplicación se realizaron 5 peticiones de voz por cada letra y número obteniéndose los resultados de la figura 74.

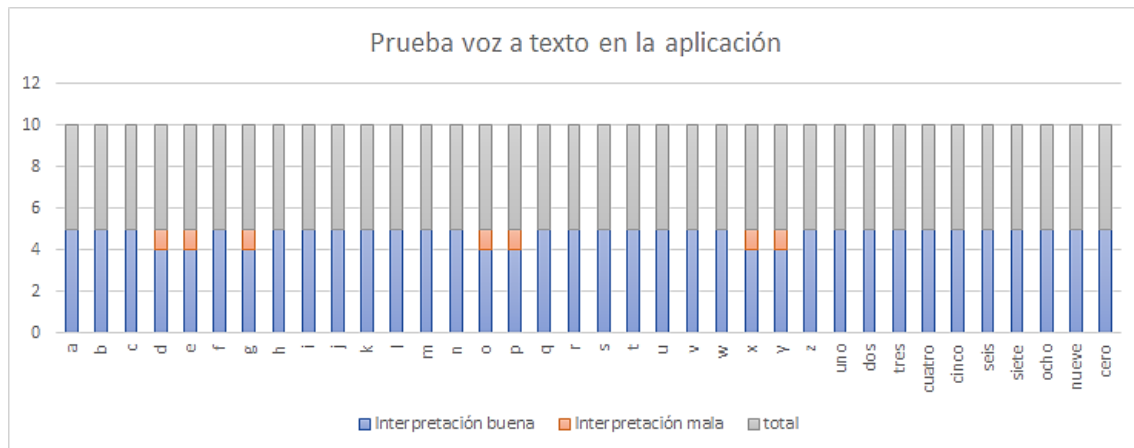


Figura 74: Resultado de pruebas de voz a texto en la aplicación Android

Fuente: Elaborado por el autor

La mayoría de los caracteres son interpretados de manera correcta comprobando así el requerimiento SRS7. Las fallas sucedieron al estar en un ambiente con ruido ambiental cambiante aun así son errores mínimos. En la figura 75 tenemos la lectura de ruido ambiental durante las pruebas de funcionamiento.

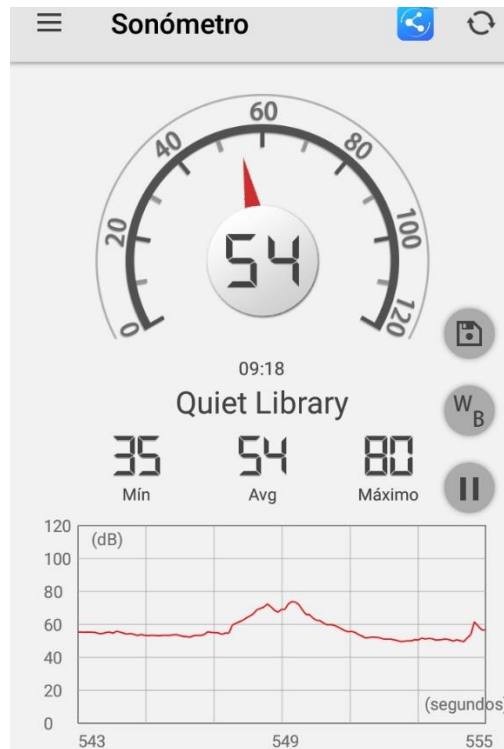


Figura 75: Medición de ruido ambiental durante las pruebas de funcionamiento

Fuente: Elaborado por el autor – datos obtenidos de Aplicación sonómetro para Android

Ponemos a prueba el microcontrolador, la compilación se realizó con todo el programa y sus librerías (Anexo 5) para comprobar que las soporta, al compilar el programa se utiliza un 24% de la memoria flash y un 25% de memoria dinámica como se observa en la figura 76.

```

Usando librería ShiftIn con versión 1.0.0 en la carpeta: C:\Users\Jeff\Documents\Arduino
"C:\Program Files (x86)\Arduino\hardware\tools\avr\bin/avr-size" -A "C:\Users\Jef
El Sketch usa 8058 bytes (24%) del espacio de almacenamiento de programa. El máximo es 3
Las variables Globales usan 521 bytes (25%) de la memoria dinámica, dejando 1527 bytes p

```

Figura 76: Consumo de memoria flash y dinámica del microcontrolador

Fuente: Elaborado por el autor

## 5.5. Pruebas De Implementación

Las pruebas de implementación son las pruebas finales que se realizan aprobadas las verificaciones anteriores esto corroborará que el prototipo cumple la función para la cual fue echo validando así los objetivos de este proyecto. El prototipo fue elaborado para ayudar en el aprendizaje del lenguaje braille dirigido a personas que posean o no la discapacidad visual y que hayan sido alfabetizadas en el lenguaje tradicional por lo que no se trabajará con niños de reducidas edades.

Debido al posible bajo conocimiento de los sujetos de prueba en tecnología e informática se realizó primero una pequeña explicación introductoria mostrando el prototipo y de lo que se esperaba que sea capaz. Luego de esto se realizaron las pruebas con dos usuarios que tienen un familiar menor de edad en común que posee la discapacidad por lo que ellos quieren aprender el lenguaje braille, los participantes tienen 30-33 años y no pueden leer ni escribir en braille, pero si son alfabetizados en el lenguaje español.

Las pruebas con usuarios se realizaron durante 5 días, al finalizar el día 1 se pidió a los participantes que evalúen el nivel de dificultad de las actividades que pueden hacer con el dispositivo, la tabla 30 muestra los resultados obtenidos.

Tabla 30: *Evaluación de dificultad de uso del prototipo*

<b>Evaluación de dificultad de uso del prototipo</b>						
Actividades para los usuarios	USUARIO 1			USUARIO 2		
	fácil	medio	difícil	fácil	medio	difícil
Encendido del sistema	x			x		
Identificación zonas del tablero	x			x		

Manejo de interruptores del módulo de escritura	x	x
Interacción con la aplicación Android	x	x
Proceso: Solicitar una letra	x	x
Proceso: Ejercicios de escritura	x	x

Fuente: Elaborado por el autor

Al finalizar el día 2 los participantes eran capaces de solicitar cualquier letra o número con la aplicación sin mucha complicación y percibir su representación en el módulo de lectura, el siguiente paso fue solicitarles que intenten escribir una letra y posteriormente una palabra en el módulo de escritura, esto durante el día 3. En la figura 77 y 78 tenemos a los usuarios utilizando el prototipo.

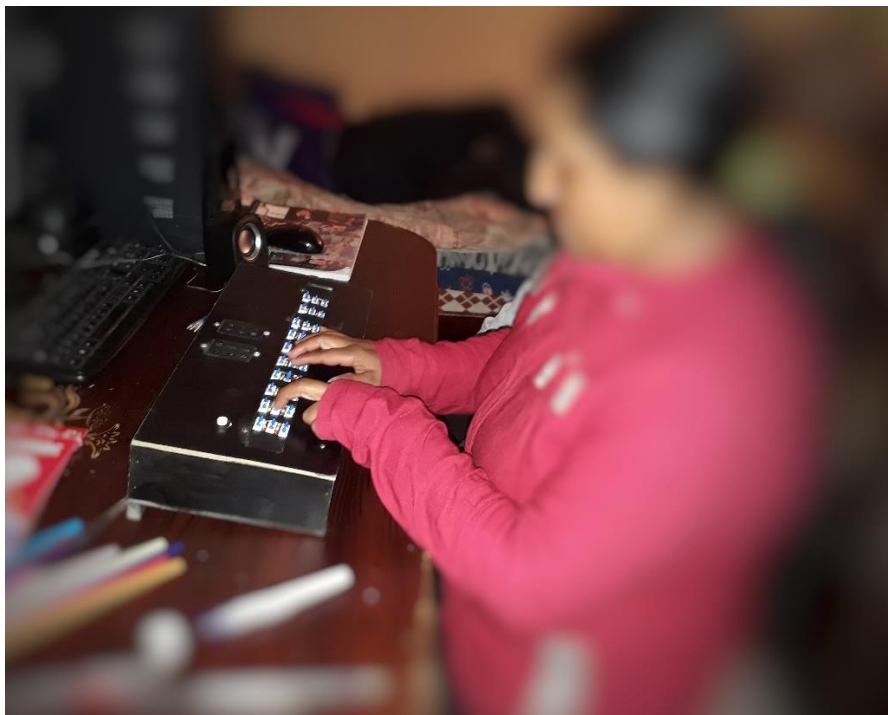


Figura 77: Usuario 1 utilizando el prototipo

Fuente: Elaborado por el autor





Figura 78: Usuario 2 utilizando el prototipo

Fuente: Elaborado por el autor

En el día 4 se propusieron ejercicios libres y en el día 5 se pidió a los participantes que escriban una palabra de su elección en el módulo de escritura consultando las letras con la aplicación si así lo deseaban, los resultados obtenidos se reflejan en la figura 79.

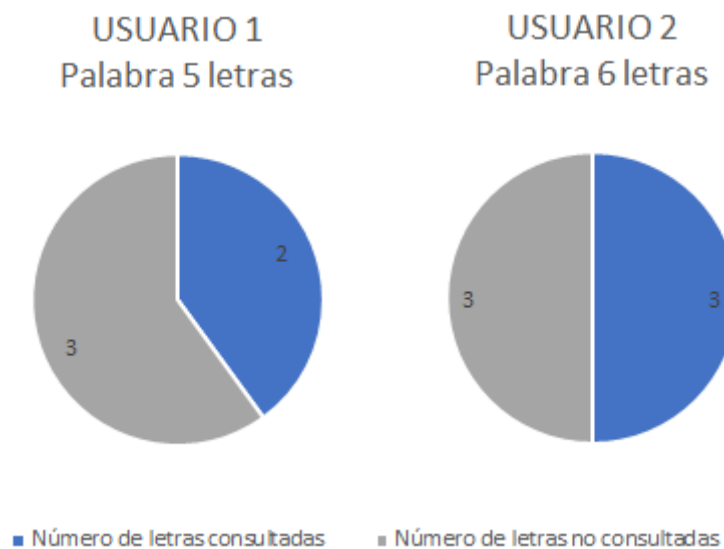


Figura 79: Resultados prueba escritura con usuarios

Fuente: Elaborado por el autor

Desde el segundo día también se realizó una prueba de reconocimiento de caracteres para evidenciar el conocimiento adquirido por los participantes, la prueba consistía en presentar al usuario 9 caracteres en braille y pedirle que nos diga cuales son, contabilizando los aciertos. Los resultados los tenemos en la figura 80.

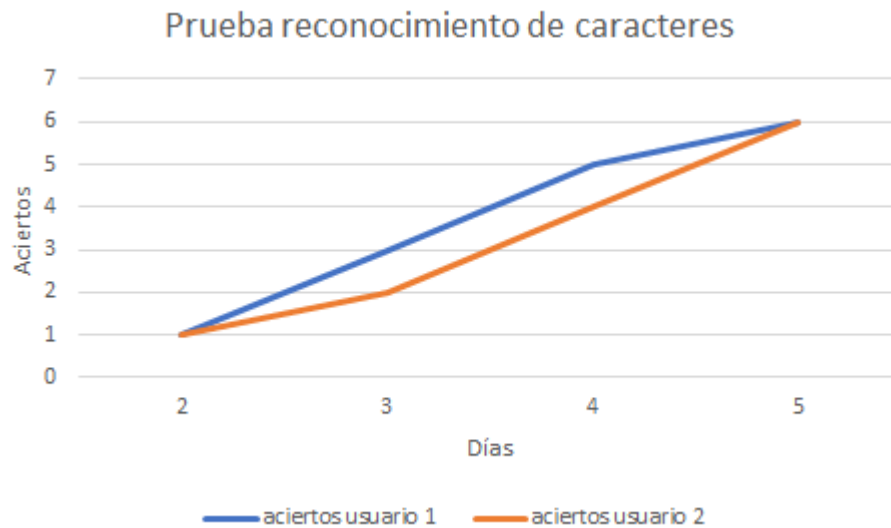


Figura 80: Resultados de la prueba de reconocimiento de caracteres

Fuente: Elaborado por el autor

Por último, se hizo una prueba de velocidad de escritura, se pidió a los usuarios que intenten escribir sus nombres utilizando el prototipo con el fin de medir el tiempo que tardan en hacerlo, los resultados obtenidos se muestran en la figura 81.

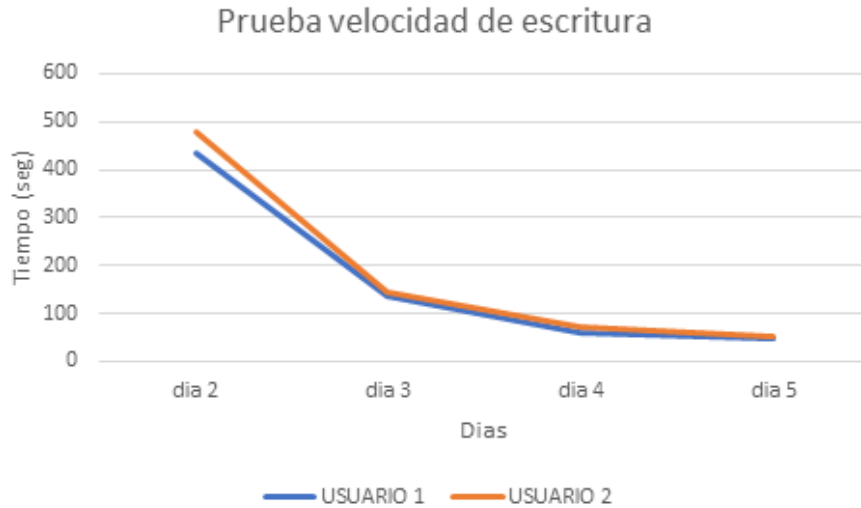


Figura 81: Resultados prueba de velocidad de escritura

Fuente: Elaborado por el autor

Las pruebas realizadas permitieron evidenciar el aporte del dispositivo al aprendizaje del braille, la prueba de escritura muestra la cantidad de caracteres aprendidos por los usuarios al escribir una palabra, con la prueba de reconocimiento de caracteres se observó la capacidad de cada usuario para identificar letras aleatorias en braille, finalmente la prueba de velocidad de escritura muestra el avance general en la escritura braille desde el primer hasta el último día de pruebas.

Una vez los usuarios se adaptan al uso del prototipo es sencillo que de manera autónoma puedan consultar la escritura de cada letra o número por separado esto resulta útil cuando no se tiene a un instructor en todo momento del proceso de aprendizaje y cuando se quiere practicar por cuenta propia, reduciendo así el tiempo que tarda aprender este lenguaje.

## Conclusiones

La investigación fue desarrollada recopilando información de distintas fuentes bibliográficas, así como de instructores del Centro de Educación Popular Especial de Imbabura y del área de no videntes de la Universidad Técnica del Norte lo que permitió tener un mejor criterio para elegir software, hardware y modelar el dispositivo.

Los centros de enseñanza que instruyen en este lenguaje en el país no cuentan con grandes herramientas tecnológicas que faciliten el aprendizaje de los alumnos y tampoco las hay a disposición de las personas que sin tener la discapacidad deseen aprenderlo.

Las pruebas de funcionamiento fueron realizadas con las partes del prototipo de manera aislada lo cual sirvió para comprobar el diseño y también como un conjunto con la ayuda de usuarios que probaron el prototipo y de los cuales se obtuvo información que permitió establecer que el dispositivo cumple con su función de enseñar el lenguaje braille.

Los motores de voz que utilizan inteligencia artificial como es el caso de Google aportan una mayor exactitud a la hora de interpretar de mejor manera lo que el usuario intenta comunicar.

Los usuarios del prototipo pueden consultar la forma que tienen números y letras en braille sin la necesidad de la presencia de un instructor lo cual es una forma de practicar el lenguaje de manera autónoma.

El costo del prototipo no es muy elevado comparándolo con alternativas tecnológicas para aprender brailles disponibles en el mercado, el costo se puede reducir si ya se tiene un dispositivo Android para utilizar con el proyecto.

## **Recomendaciones**

Se recomienda tomar el dispositivo desarrollado como base para la construcción de un prototipo mejorado que mejore ciertas características como el tamaño de los signos generadores para hacer que se parezcan más a un símbolo hecho en papel, o el motor de voz el cual se podría hacer utilizando inteligencia artificial y redes neuronales, además de otras funciones.

Al trabajar con solenoides se recomienda no mantenerlos activos por mucho tiempo debido a que al estar contruidos por una bobina de material conductor estos pueden calentarse llegando a temperaturas que pueden resultar incómodas para algunas aplicaciones.

En el desarrollo de proyectos que involucren personas con discapacidad es recomendable hacer primero un acercamiento y socialización del proyecto ya que a veces las ideas que tenemos no satisfacen las necesidades reales de los usuarios que al final son para los cuales va dirigido el proyecto.

Al usar dispositivos en modo conmutador es importante considerar la corriente de la carga ya que no todos los componentes electrónicos pueden soportar altas corrientes y otros no son los mejores para estas aplicaciones.

Se recomienda utilizar el prototipo en un lugar con bajo ruido ambiental para que el reconocimiento de voz se desarrolle de una manera correcta.

## Bibliografía

- Anycubic. (2019). *Anycubic 3D Printing*. Obtenido de <https://www.anycubic.com/>
- Astasio, J. A., Gonzáles, P., & Martínez, I. (1993). *Método Pérgamo*. Madrid: Organización Nacional de Ciegos Españoles.
- Benavides, F., Hidalgo, P., & Navarrete, J. (2015). Diseño e implementación de un modelo de inclusión laboral de personas con discapacidad intelectual leve y moderada en grupo KFC. *Trabajo de titulación*. Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito.
- Blenkhom, P. (2005). A System for Converting Braille into Print. *IEEE Transactions on rehabilitation Engineering*. Vol 3.
- Boylestad, R., & Nashelsky, L. (2009). *Electrónica: Teoría de Circuitos y Dispositivos electrónicos*. México: Pearson Education.
- Castañeda, S., & Maldonado, E. (2009). Sistema para el aprendizaje de Lectoescritura en Braille. *Trabajo de Titulación*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Cazar, R. (2001). *Breve análisis de la situación de las discapacidades en el ecuador*. Obtenido de [http://icevi.org/latin\\_america/publications/quito\\_conference/analisis\\_de\\_la\\_situacion\\_de\\_las\\_.htm#PROYECCIONES DE TRABAJO PARA EL A%C3%91O 2001](http://icevi.org/latin_america/publications/quito_conference/analisis_de_la_situacion_de_las_.htm#PROYECCIONES DE TRABAJO PARA EL A%C3%91O 2001)
- Cebrián, M., & García, S. (2012). Glosario de Términos sobre el Acceso de las personas discapacitadas visuales a la información .
- Comisión Braille Española. (2014). Normas Para la Transcripción y Adaptación de Textos En Sistema Braille. *Documento Técnico b 3-1* . Madrid: Departamento de Promoción Cultural y Braille.
- CONADIS. (2006). *Convención sobre derechos de las personas con discapacidad y protocolo facultativo*.
- CONADIS. (2015). INFORME DE RENDICIÓN DE CUENTAS CONADIS 2015.
- CONADIS. (2016). *AVANCES DE LAS POLÍTICAS PÚBLICAS DE DISCAPACIDADES Y APORTES CIUDADANOS RENDICIÓN DE CUENTAS 2016*.
- CONADIS. (2018). REGISTRO NACIONAL DE DISCAPACIDADES.
- Dogan, I. (2007). *Programación de microcontroladores pic*. Barcelona: Marcombo.

- Espejo de la Fuente, B. (2004). *La guía práctica para la enseñanza del Braille*. Madrid: Carácter, S.A. Fdez. de la Hoz.
- Estrada, R. (2017). *Puerto Serial – protocolo y su teoría*. Obtenido de <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/puerto-serial/>
- Fernández, J. (2017). *Braille de 6 y 8 puntos*. Obtenido de <http://disvimat.net/wp-content/uploads/2017/01/Braille-de-6-y-8-puntos.docx>
- Garza, G., & Ángel, J. (2006). *Sistemas digitales y electrónica digital, prácticas de laboratorio*. México: Pearson Education.
- Giesteira, A. (2019). *Procesos de decodificación de la partitura braille*. España. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/334179881\\_Procesos\\_de\\_decodificacion\\_de\\_la\\_partitura\\_braille/citation/download](https://www.researchgate.net/publication/334179881_Procesos_de_decodificacion_de_la_partitura_braille/citation/download)
- Google. (2019). *Google Assistant, your own personal Google*. Obtenido de <https://assistant.google.com/>
- Gross, M. (2000). *Integración/Inclusión Educativa de Estudiantes con Discapacidad Visual*. Costa Rica: Universidad Politécnica Salesiana.
- Harper, G. (2004). *Guía para el diseño de instalaciones eléctricas, residenciales, industriales y comerciales*. México: Editorial Limusa, S.A.
- Huertas, J. A., & Simon, C. (1993). *La lectura Braille, Psicología cognitiva de la ceguera*. Madrid: Alianza Psicológica.
- IEEE. (1978). Interconexión de Instrumentos Programables. *IEEE 488*.
- Jorquera, O. A. (2017). *Fabricación Digital: introducción al modelado e impresión 3D*. Madrid: Ministerio de Educación de España.
- Leone, P., Wasserman, E., Sadato, N., & Hallett, M. (2006). The role of reading activity on the modulation of motor cortical outputs to the reading hand in Braille readers. *National Institute of Neurological Disorders and Stroke*. doi:10.1002/ana.410380611
- Llorens, P., & Llatchós. (s.f.). *Ventajas e Inconvenientes de los sistemas de escritura Ideados para uso de los ciegos y en particular, de los adoptados para su enseñanza*. Barcelona: Pasaje de Escudillers.
- Lucerga, R. (1993). *Palmo a palmo: la motricidad fina y la conducta adaptativa a los objetos en los niños ciegos*. Madrid: Organización Nacional de Ciegos Españoles, Sección de Educación.

- Martí de León, R. (2009). *Poner puntos en relieve: el braille*. Hidalgo, México: Consejo Estatal para la Cultura y las Artes.
- Martinez, A. (2009). *Braille el acceso de los ciegos al conocimiento*. Sevilla: MAD Editorial.
- Mijarez, C. R. (2014). *Electrónica*. México: Grupo Editorial Patria.
- Ministerio de Inclusión Económica y Social. (2013). *Propuesta de atención Integral para personas con discapacidad*. Obtenido de <https://www.inclusion.gov.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/11/Modelo-de-Atenci%C3B3n-de-Discapacidades.pdf>
- Mobarak, A. (1994). *Lecto-escritura en Cartagena gráficos para estudiantes ciegos*. Ediciones Riapl.
- Molina. (2015). *El transistor Bipolar*. San Juan, Argentina.
- Muñoz, J. (2010). *Las TIC y la discapacidad visual*. Centro de investigación desarrollo y aplicación tiflotécnica.
- OMS. (Julio de 1999). *Clasificación Internacional del Funcionamiento y la Discapacidad*. Obtenido de [http://www.insor.gov.co/home/wp-content/uploads/filebase/ciddm\\_deficiencia\\_minusvalias.pdf](http://www.insor.gov.co/home/wp-content/uploads/filebase/ciddm_deficiencia_minusvalias.pdf)
- OMS. (2000). *Clasificación Internacional del Funcionamiento y Discapacidad*. Ginebra: Grupo de evaluación, clasificación y epidemiología – OMS.
- OMS. (Mayo de 2008). *Convención sobre los derechos de personas con discapacidad*. Obtenido de <https://www.un.org/esa/socdev/enable/documents/tccconvs.pdf>
- Ortega, A. (2015). *Fabricación digital: Introducción al modelado e impresión 3D*. Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.
- Ortega, T. (2017). *Juguete Electrónico para la mejora del proceso de alfabetización bajo lenguaje braille en niños del área de no videntes de la Universidad Técnica del Norte*. *Trabajo de titulación*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
- Párraga, R. (2015). *Realidad de las Personas con Discapacidad Visual y Escolaridad Inconclusa en "San Pablo" de Manta y Propuesta de Guía de Estrategias Metodológicas para Potenciar el Aprendizaje de Lectoescritura*. *Trabajo de Titulación*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Querétaro, S. d. (2017). *Taller de lecto-escritura en braille*. Mexico.
- Rufiner, Hugo, L., & Milone. (2005). *Sistema de reconocimiento automático del habla*, *Red Ciencia, Docencia y Tecnología*. Buenos Aires: Red Ciencia, Docencia y Tecnología.



- Ruiza, M., Fernández, T., & Tamaro, E. (2004). *Biografía de Louis Braille. En Biografías y Vidas*. Barcelona (España): Biografías y Vidas. Obtenido de <https://www.biografiasyvidas.com/biografia/b/braille.htm>
- Santacruz, V. L., Paredes, V. M., & Dominguez, M. F. (2014). *Programación multimedia y dispositivos móviles*. Madrid: RA-MA Editorial.
- Santamaria, E. (2002). *Electronica digital y microprocesadores*. Madrid: Biblos Industria Gráfica.
- Santana, A., Guillén, A., & Marquez, S. (2010). *Bienestar psicológico y actividad física en poblaciones ciegas y con deficiencias visuales*. Obtenido de <http://www.revistas.ucr.ac.cr/index.php/pem/article/view/436/427>
- Secretaría de cultura Querétaro. (2017). *Taller de lecto-escritura en braille*. México.
- SPARKFUN ELECTRONICS. (2019). *Solenoid 5v small*. Colorado.
- Tomelloso, C. (2015). *Medidas Organizativas y curriculares de atención a la diversidad desde una perspectiva inclusiva*. Argentina.
- Torrente, O. (2013). *Arduino, curso práctico de formación*. México: NIU libros.
- TutoElectro. (14 de abril de 2016). *Arduino o Raspberry Pi*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=i0RUXQhsI6A>
- Viñas, L. P. (1999). *Circuitos y dispositivos electrónicos*. Barcelona: Edicions UPC.
- Vrushabh, S., & Dharme, S. P. (2015). A Electro-Micromechanically Actuated Text to Braille Converted Refreshable Display with the Mono Cell. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 143-147.
- Zumba, J., & León, C. (2018). Evolución de las metodologías y modelos utilizados en el desarrollo de software. *Revista de la Universidad Internacional del Ecuador*, 20-33. doi:<https://doi.org/10.33890/innova.v3.n10.2018.651>

## Anexos

### ANEXO 1: INFORME DE LA ENTREVISTA

En la jornada de observación en el Centro de Apoyo Pedagógico Especializado Imbabura los días 5 y 6 de marzo del 2020, se hizo una entrevista a 3 instructores de braille que enseñan a personas adultas y niños. Esto para entender los métodos y prácticas educativas utilizadas en el desarrollo educativo referentes al lenguaje braille. Las preguntas realizadas fueron:

- ¿Qué metodología utilizan para enseñar braille de cero a un adulto y a un niño?

Respuesta: “Es un secreto profesional, algo que no podemos revelar sino es a un instructor del lenguaje de este centro”

- ¿Luego de explicarle en que consiste mi proyecto cree que es adecuado el número de símbolos generadores para escritura?

Respuesta: En este punto me hicieron algunas recomendaciones cambiando el primer prototipo que tenía en mente y sugiriéndome poner 12 símbolos generadores para escritura

- Respecto al tacto de los puntos del símbolo generador. ¿Tiene alguna recomendación para su textura o forma?

Respuesta: “El punto del símbolo debe tener una forma redondeada, esta forma es la que reconocen los niños y la relacionan con las formas de la escritura en papel”

- ¿El prototipo puede reproducir audio, hay algún problema con que la reproducción de audio se dé mediante el celular?

Respuesta: “Puede hacerlo con el celular esa también es una buena idea”

- Luego de mostrarle el símbolo generador de lectura y explicarle las limitaciones que tengo por la electrónica. ¿El tamaño del símbolo le parece correcto?

Respuesta: “El tamaño y forma del símbolo está bien echo es como el de un juguete braille que teníamos hace un tiempo”

- ¿Sugiere que los símbolos generadores de escritura sean más pequeños?

Respuesta: “Sí, está bien mientras no sean más grandes que el símbolo generador de lectura, lo ideal sería que se parezca a una escritura con regleta y punzón”

- ¿Le parece necesario que el prototipo funcione con baterías, hay algún problema si debiera estar conectado a la energía eléctrica para que funcione?

Respuesta: “No, para que baterías como va a estar en una mesa no hay problema si se conecta a la energía eléctrica”

- Luego de enseñarle un símbolo generador con pulsadores y uno con interruptores. ¿Cuál de los dos le parece mejor para utilizar en el proyecto?

Respuesta: “Éste conserva la forma de lo que se presiona, es más útil y es el mismo que se utiliza en el muñeco brailin”

- Entonces, supongamos un ejercicio de escritura, el sistema pide por voz que escriba una palabra, el usuario la escribe y al final presiona un botón para señalar que ya acabó de escribir. ¿Le parece bien este proceso?

Respuesta: “Sí, pero debiese indicar si es correcto o no lo que está escribiendo”

En conclusión, las experiencias, formación y conocimientos de los docentes que día a día brindan clases en este centro son fundamentales para identificar los requerimientos de diseño del prototipo y hacer algo que sin importar lo complicado o sencillo que sea pueda resultar útil para las personas a las que va dirigido el proyecto.



**Figura 1:** Sra. Noemí Trejo directora del centro, con el símbolo generador de lectura



**Figura 2:** Sra. Noemí Trejo directora del centro, con el símbolo generador de lectura y escritura

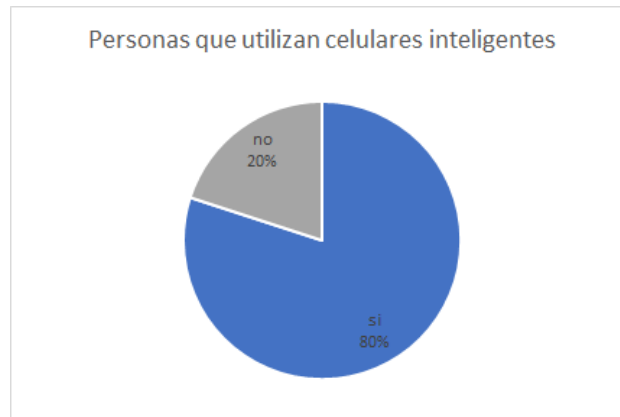


## ANEXO 2: Resultados de la Observación directa en el Centro de Educación Popular Especial

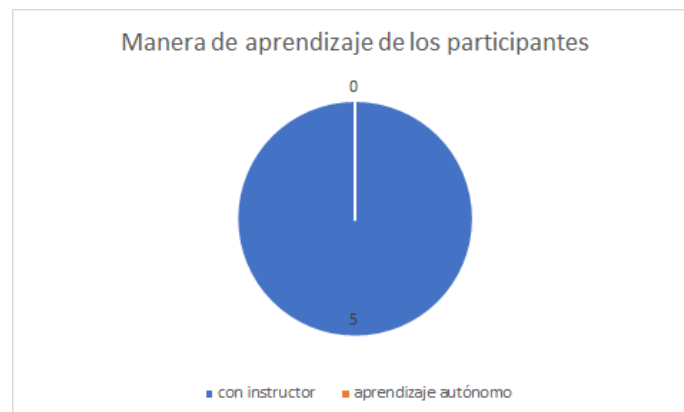
Imbabura

Número de participantes: 5

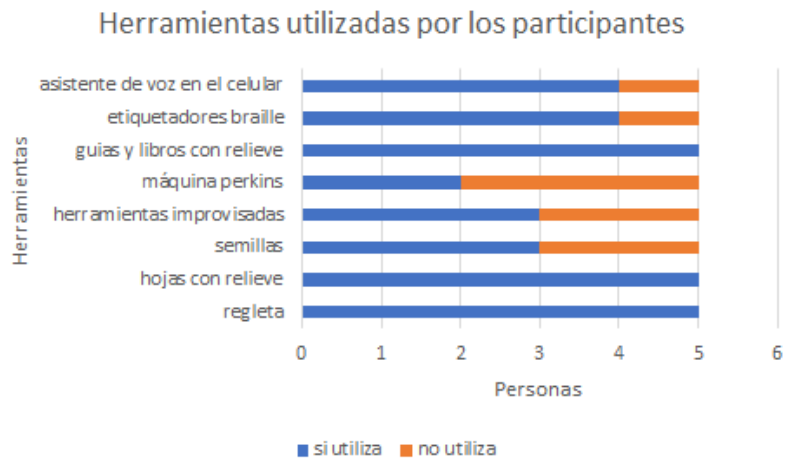
Utilización de celulares con asistentes de voz por parte de los participantes:



Manera en que aprenden braille los participantes, es decir si tienen el apoyo de un instructor en todo momento.

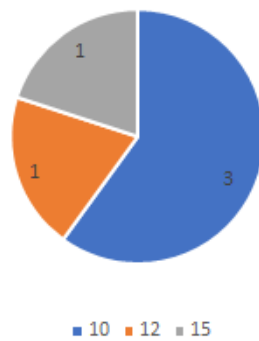


Herramientas que utilizan los participantes:



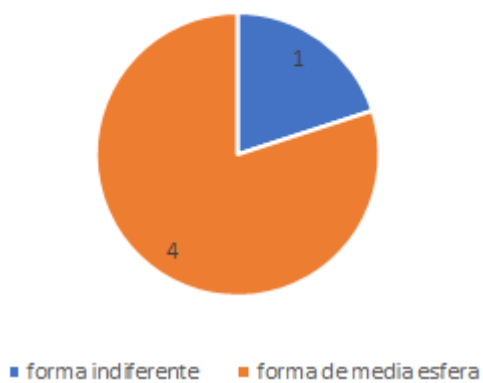
Numero de símbolos generadores para representar palabras

Numero de símbolos generadores para representar palabras



Forma del punto del símbolo generador de escritura

Número de símbolos generadores para representar palabras



ANEXO 3:

INFORME

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SÍMBOLO GENERADOR USANDO VIBRACIÓN  
MECÁNICA COMO MEDIO DE RECONOCIMIENTO DE POSICIÓN DE PUNTOS EN  
LA MATRIZ BRAILLE 2X3



## **ANTECEDENTES**

El origen de este estudio se encuentra en la necesidad de construir un símbolo generador braille apto para el acoplamiento de este a un prototipo electrónico, con la restricción del uso de servo motores.

Se requiere diseñar y construir el símbolo generador teniendo en cuenta que el costo no sea elevado ya que formará parte de un grupo de símbolos generadores que en conjunto servirán para interpretar caracteres en braille.

Para su construcción se consideró su compatibilidad de acoplamiento con microcontroladores, su consumo de potencia y sus dimensiones

## **OBJETIVOS**

- Diseñar el circuito y las placas PCB del símbolo generador
- Construir un símbolo Generador Braille usando vibración mecánica como método de reconocimiento
- Realizar mediciones de potencia al circuito
- Identificar ventajas y desventajas del prototipo construido

## **MATERIALES Y PROCEDIMIENTOS**

### **Materiales:**

- Placa PCB
- Alambre de cobre 20AWG
- 6 mini motor vibrador plano

- 6 transistores 2N3904
- 6 resistencias 1K ohm
- Espadines
- Cables y Conectores

### Procedimiento:

Como primer paso se realizó el diseño del PCB en Fritzing, considerando el tamaño de los motores vibradores se estableció el lugar para soldar los resortes sobre los que irán los motores vibradores, estos lugares son los jumpers con mayor separación entre sus pines (naranjas) representados en el esquema.

Los jumpers con menor separación entre sus pines (verdes) son designados para los espadines que sirven para la conexión de los motores y para la conexión al circuito de control

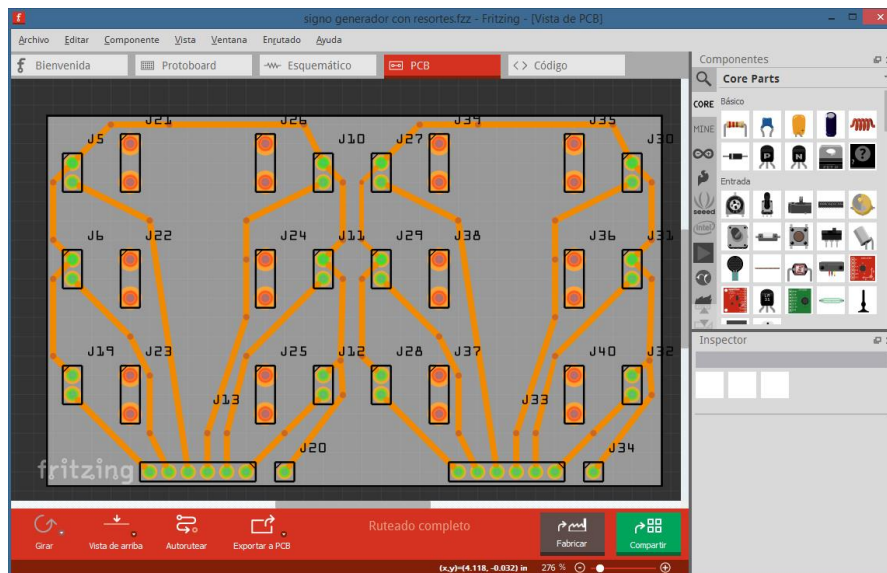


Ilustración 1 Diseño de PCB del signo generador en Fritzing

Para el diseño del circuito de control se diseñó un PCB que consiste en espacio para 6 transistores BJT configurados como interruptores, una resistencia limitadora de corriente para cada uno y jumpers para soldar espadines que unan este PCB con el PCB del signo generador

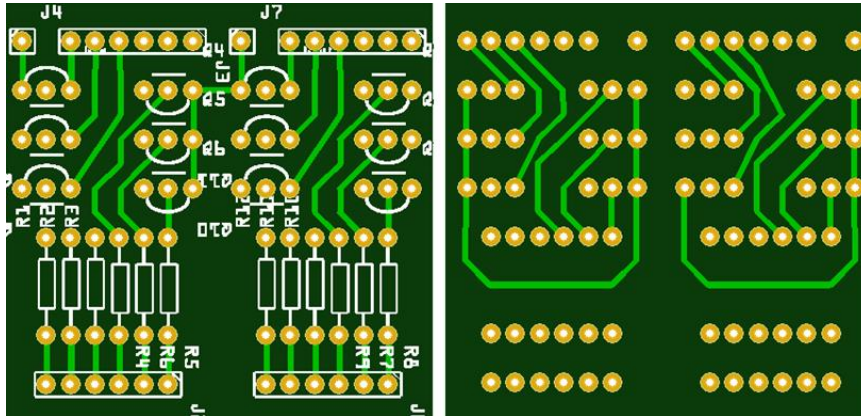


Ilustración 2 Diseño del PCB del circuito de control

Este PCB fue diseñado y enviado a jlcpcb.com para su fabricación con el fin de constatar la calidad del PCB fabricado y tenerlo en cuenta para futuros circuitos y por el ahorro de espacio ya que JLCPCB fabrica circuitos a doble capa y con un acabado profesional a un bajo precio.

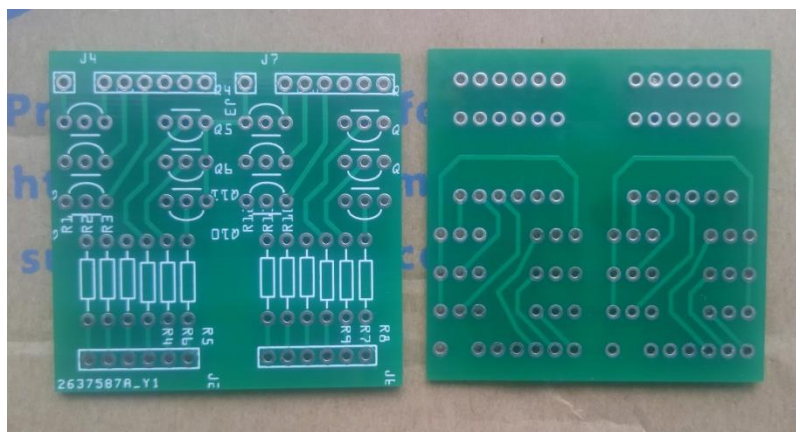


Ilustración 3 Placas PCB hechas en jlcpcb.com

## Diagrama de circuito

El circuito son básicamente 6 transistores configurados como interruptores con una resistencia limitadora de corriente y con salidas para su conexión al microcontrolador

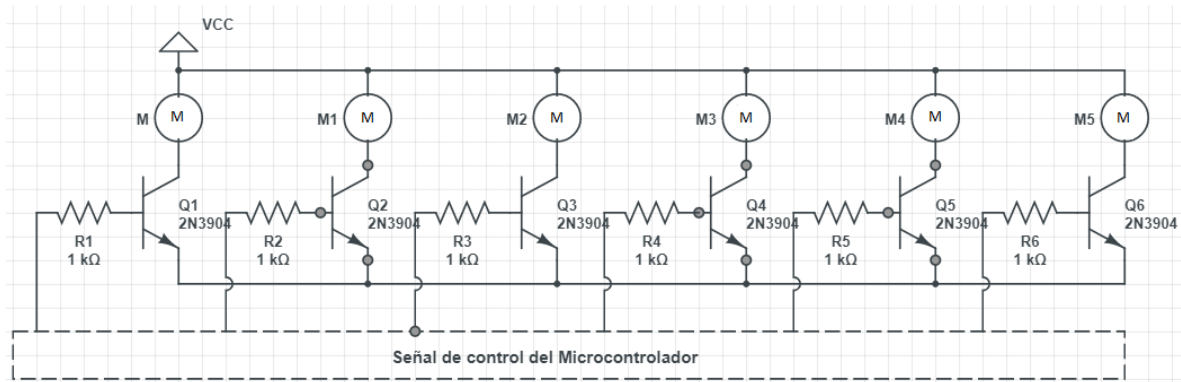


Ilustración 4 Diagrama de circuito

## Construcción

Una vez se obtuvieron los PCBs se procedió al soldado de componentes en la placa tal como dicta el diseño, un componente adicional que se incluyó fueron los resortes hechos con alambre telefónico 20AWG con el fin de amortiguar la vibración de los motores y permitir tenerlos más juntos sin que se induzcan vibraciones entre si

## Dimensiones

Finalmente se obtuvo un signo generador funcional de 5x4cm de apariencia simple sin carcasa protectora



Ilustración 5 Signo generador

La placa PCB del circuito de control luego del soldado de componentes tiene una medida de 4.4 x 2.2 cm

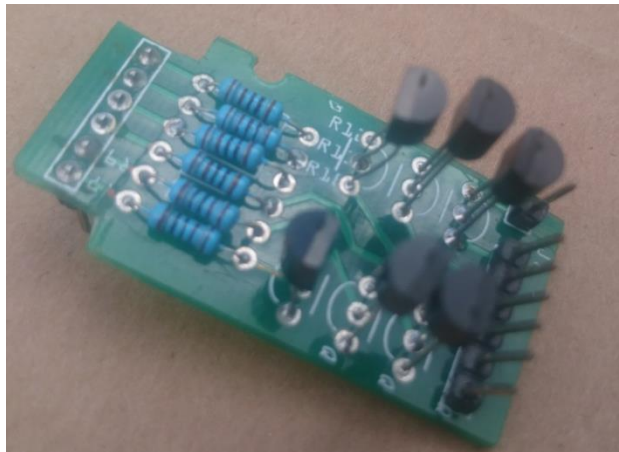


Ilustración 6 placa circuito de control con componentes soldados

## RESULTADOS

### Pruebas de funcionamiento

Se realizaron las pruebas de funcionamiento del signo generador para lo cual se activaron los motores uno por uno y juntos para comprobar el consumo de corriente y la amortiguación de los resortes

### **Medición de voltaje y corriente**

El voltaje aplicado fue de 1.32 volts, según el datasheet del dispositivo soporta hasta 4volts, pero se aplicó un voltaje inferior para reducir la intensidad de la vibración

La corriente que consume cada punto del signo generador es de 0.03 amperios y de los 6 puntos juntos es de 0.18 amperios.



Ilustración 7 Medición de corriente y voltaje de un punto del signo generador

### **Medición del ruido**

Se consideró importante realizar la medición de ruido ya que este era notorio al activar los 6 puntos del signo generador y debido a que se deben acoplar más signos generadores es importante asegurar que el ruido y la vibración no sean excesivos.



Ilustración 8 Medición de ruido generado por un punto del signo generador

Si bien el ruido generado no es muy alto (44DB) es importante considerar que el signo generador forma parte de un proyecto de aprendizaje del lenguaje braille por lo que el ruido podría mermar la concentración del que aprende, es importante señalar que la medición se la realizo teniendo activado un punto del signo generador y con ruido ambiental bajo, según la OMS 55 decibeles es lo que el ser humano puede tolerar sin afectar su estado de salud.

### **Disponibilidad en el mercado**

Todos los materiales utilizados fueron fáciles de conseguir y de costos asequibles, fueron comprados en tiendas locales, pero para reducir aún más el costo se recomienda adquirir los componentes en tiendas chinas si el tiempo no es un impedimento ya que el envío al país desde china puede tardar hasta 2 meses si no se paga envío rápido

A continuación, una tabla de comparación de costos y disponibilidad en el mercado de algunos componentes importantes

Tabla 1. Tabla comparativa de precios de componentes

<b>Componente</b>	<b>Disponibilidad en el mercado local</b>	<b>Precio local</b>	<b>Precio en china</b>
<b>PCB casero</b>	si	3	2
<b>Mini motor vibrador</b>	si	2,5	0,19
<b>Transistor 2N3904</b>	si	0,25	0,08
<b>Resistencia 1Kohm</b>	si	0,1	0,02
<b>Espadines</b>	si	0,01	0,001
<b>Cables, conectores</b>	si	0,1	0,001
	<b>TOTAL</b>	<b>5,96</b>	<b>2,292</b>

Como se puede observar se puede reducir en más del 50% el costo si se adquieren los componentes en tiendas chinas como aliexpress

### **Costo**

Adquiriendo los componentes en tiendas locales

Tabla de costos

<b>Componente</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Total</b>
<b>PCB casero</b>	1	3	3



<b>PCB JLCPCB</b>	1	2	2
<b>Alambre 20AWG</b>	1	0,4	0,4
<b>Mini motor vibrador</b>	6	2,5	15
<b>Transistor 2N3904</b>	6	0,25	1,5
<b>Resistencia 1Kohm</b>	6	0,1	0,6
<b>Espadines</b>	25	0,01	0,25
<b>Cables, conectores</b>	6	0,1	0,6
		<b>TOTAL</b>	23,35

## Conclusiones

Mediante este proyecto se ha desarrollado un signo generador usando la vibración mecánica como medio de reconocimiento.

Aunque se puede controlar la intensidad de vibración reduciendo el voltaje a los mini motores esta no puede ser inferior a 2.2v para asegurar el correcto funcionamiento de los motores vibradores

La vibración y el sonido producido cuando todos los puntos del signo generador están activados no es excesiva, pero si se acoplan más signos generadores de este tipo si pudiera resultar un problema y podría ser algo molesto el ruido generado

Respecto al costo del símbolo generador es un precio factible para implementar 4 o 5 símbolos generadores y formar palabras

Con todas las desventajas expuestas no es recomendable utilizar más de 2 símbolos generadores de este tipo ya que al activarse a la vez varios puntos estos pueden provocar vibración y ruido excesivos.

**ANEXO 4:**

**INFORME**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SÍMBOLO GENERADOR USANDO  
MOVIMIENTO CON ELECTROMAGNETISMO COMO MEDIO DE  
RECONOCIMIENTO DE POSICIÓN DE PUNTOS EN LA MATRIZ BRAILLE 2X3**

Ya que se identificaron problemas en el primer prototipo se procedió a la construcción de un segundo prototipo utilizando otra tecnología que se adapte a los requerimientos del proyecto

Se tiene como antecedente un símbolo generador hecho a partir de motores vibradores que presentó problemas menores en sus pruebas de funcionamiento

Se requiere diseñar y construir el símbolo generador teniendo en cuenta que el costo no sea elevado ya que formará parte de un grupo de símbolos generadores que en conjunto servirán para interpretar palabras y frases en braille.

Para su construcción se consideró su compatibilidad de acoplamiento con microcontroladores, su consumo de potencia y sus dimensiones

## **Objetivos**

- Diseñar el circuito y la placa PCB del símbolo generador
- Construir un símbolo Generador Braille usando movimiento con electromagnetismo para formar los puntos del símbolo generador
- Realizar mediciones de potencia al circuito
- Identificar ventajas y desventajas del prototipo construido

## **Materiales**

- Placa PCB
- 6 solenoides 5v
- Espadines
- Cables y Conectores
- Carcaza de plástico
- Transistores MOSFET

- Resistencias

## Procedimiento

Una vez adquiridos los componentes se procedió a diseñar una carcasa para el símbolo generador donde se dispongan los solenoides en un grupo de seis formando el signo generador, para esta tarea se realizó el diseño de la carcasa en FreeCAD ya que es un programa que ofrece herramientas para el modelado en 3D y maneja formatos compatibles con sistemas CNC.

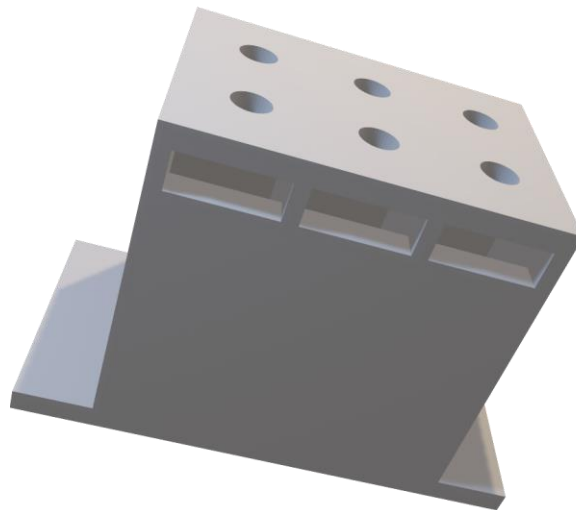


Figura 1: Modelo 3D del prototipo 1 de símbolo generador

Fuente: Diseño 3D Elaborado en FreeCad

Para su fabricación se escogió la impresión 3D por el acabado, nivel de detalle, personalización y durabilidad.



Figura 2: Segundo prototipo símbolo generador

Fuente: Elaborado por el autor

### **Circuito de control**

Ya que los solenoides consumen 1 amperio a 5 voltios, para el circuito de control se utilizaron transistores MOSFET ya que soportan potencias mayores a los BJT.

Se realizó la configuración típica de un transistor MOSFET como interruptor, al circuito se añadió un diodo de flyback por cada solenoide para evitar corrientes de retorno puesto que la carga consume alrededor de 1 amperio de corriente se utiliza un diodo rectificador de 1 amperio en concreto en 1n4007, los pines 22 al 27 que se ven en la imagen siguiente son entradas del microcontrolador.

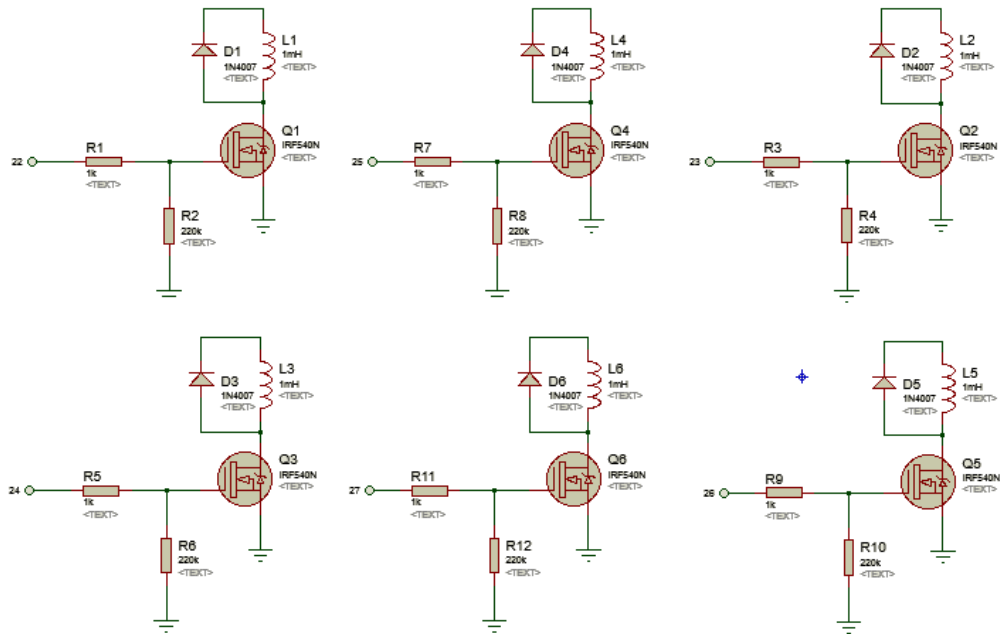


Figura 3: Circuito de control prototipo2 símbolo generador

Fuente: Elaborado por el autor

## Construcción

Para su construcción basta con colocar los solenoides en los agujeros destinados para ello, el resultado es un signo generador con dimensiones de 3.5cm x 4,5 cm y una altura aproximada de 3,7cm.



Figura 4: Prototipo2 símbolo generador

Fuente: Elaborado por el autor

## RESULTADOS

### Pruebas de funcionamiento

Se realizaron las pruebas de funcionamiento del signo generador para lo cual se activaron los solenoides uno por uno y juntos para comprobar el consumo de corriente y el funcionamiento de los transistores de efecto de campo.

### Medición de Voltaje y corriente

Con un voltaje de 5v cada solenoide consume aproximadamente un amperio de corriente, es lo esperado puesto que corrobora la información de la hoja de datos del fabricante de estos

### Disponibilidad en el Mercado

El único componente complejo de conseguir fue el solenoide, en tiendas nacionales únicamente hay disponibles solenoides de 12volts o superiores y a precios que rondan los 10 dólares, debido a esto se adquirió los componentes en china donde cuestan 90 centavos

A continuación, la tabla de costos de los componentes utilizados en la construcción del prototipo de símbolo generador

Tabla 1: *Costos prototipo de símbolo generador 2*

Componente	Cantidad	Precio	Total
<b>Solenoide 5v</b>	6	0,9	5,4
<b>MOSFET IRF540n</b>	6	1	6
<b>Resistencias</b>	12	0,1	1,2
<b>Impresión 3D</b>	6	1	6
		<b>TOTAL</b>	<b>18,6</b>



## ANEXO 5

### CÓDIGO DEL PROGRAMA COMPILADO EN IDE ARDUINO

```
#include <ShiftIn.h>

ShiftIn<8> shift; //librería y declaración de 8 CI registros de despl.

byte datos; //variable requerida para el funcionamiento de la libreria

byte datoses[64]; //vector que almacena las 60 lecturas de pulsadores

String palabra = ""; //variable que almacena la palabra formada por los puls.

char letra; //almacena el caracter recibido desde la aplicación BT

byte car1 = B000000; //variables que almacenarán

byte car2 = B000000; //los datos de los pulsadores

byte car3 = B000000; //10 caracteres braille

byte car4 = B000000;

byte car5 = B000000;

byte car6 = B000000;

byte car7 = B000000;

byte car8 = B000000;

byte car9 = B000000;

byte car10 = B000000;

const byte braille[] = { //arreglo que contiene caracteres

    B100110, //42*           // en formato byte y su
    B010110, //43+           //correspondiente valor decimal
    B000010, //44,           //6 bites corresponden a los
    B100100, //45-           //6 puntos del signo generador
    B000100, //46.
    B110010, //47/
    B011010, //48 0
    B000001, //49 1
    B000011, //50 2
    B001001, //51 3
```

B011001, //52 4  
B010001, //53 5  
B001011, //54 6  
B011011, //55 7  
B010011, //56 8  
B001010, //57 9  
B010010, //58:  
B000110, //59;  
B000000, //60<  
B110110, //61=  
B000000, //62>  
B100010, //63?  
B000000, //64@  
B000001, //65A  
B000011, //66B  
B001001, //67C  
B011001, //68D  
B010001, //69E  
B001011, //70F  
B011011, //71G  
B010011, //72H  
B001010, //73I  
B011010, //74J  
B000101, //75K  
B000111, //76L  
B001101, //77M  
B011101, //78N  
B010101, //79O  
B001111, //80P

B011111, //81Q  
B010111, //82R  
B001110, //83S  
B011110, //84T  
B100101, //85U  
B100111, //86V  
B111010, //87W  
B101101, //88X  
B111101, //89Y  
B110101, //90Z  
B000000, //91[  
B000000, //92/  
B000000, //93]  
B000000, //94^  
B000000, //95\_  
B000000, //96'  
B000001, //97a  
B000011, //98b  
B001001, //99c  
B011001, //100d  
B010001, //101e  
B001011, //102f  
B011011, //103g  
B010011, //104h  
B001010, //105i  
B011010, //106j  
B000101, //107k  
B000111, //108l  
B001101, //109m

```

B011101, //110n
B010101, //110o
B001111, //112p
B011111, //113q
B010111, //114r
B001110, //115s
B011110, //116t
B100101, //117u
B100111, //118v
B111010, //119w
B101101, //120x
B111101, //121y
B110101, //122z
B111011 //165ñ
};

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(14, INPUT); // pulsador 1
  pinMode(15, INPUT); // pulsador 2 no es requerido pero se reserva el pin
  pinMode(8, OUTPUT); // clock 74ls595
  pinMode(9, OUTPUT); // registro 74ls595
  pinMode(10, OUTPUT); // datos 74ls595
  // pines:
  // pLoadPin (SH/LD = 3), clockEnablePin (CLK INB = 19),
  // dataPin (SER = 4), clockPin (CLK = 2)
  // si bien la librería usa 4 pines solo usamos 3
  // no hace falta usar CLK INB en el circuito, va a GND
  shift.begin(3, 19, 4, 2);

```

```
}
```

```
void displayValues() {  
  for (int i = 0; i < shift.getDataWidth(); i++)  
  {  
    //Serial.print( shift.state(i) ); // obtiene el estado de la entrada i  
    datoses[i] = shift.state(i);  
    Serial.print(datoses[i]);  
  }  
  for (int i = 0; i < 6; i++)  
  {  
    bitWrite(car1, i, datoses[i]); //separation de todos  
    bitWrite(car2, i, datoses[i + 6]); //los datos Leidos  
    bitWrite(car3, i, datoses[i + 12]); // en 10 variables  
    bitWrite(car4, i, datoses[i + 18]); //que forman los 10  
    bitWrite(car5, i, datoses[i + 24]); //caracteres  
    bitWrite(car6, i, datoses[i + 30]);  
    bitWrite(car7, i, datoses[i + 36]);  
    bitWrite(car8, i, datoses[i + 42]);  
    bitWrite(car9, i, datoses[i + 48]);  
    bitWrite(car10, i, datoses[i + 54]);  
  }  
}  
  
//función comparar  
  
//car = caracter formado por los pulsadores ejm. car1  
  
//palabra = variable que almacena la palabra formada  
  
//braille[] = constante que contiene todos los caracteres braille  
  
//m = número que indica que caracter de braille se compara  
  
//esta función compara un caracter ingresado con pulsadores
```

```

//con un caracter registrado en la constante global braille[]
//y si hay una coincidencia lo almacena en la variable palabra
//si al final se ingresó una palabra esta será visible en la variable
//caso contrario regresa el texto incorrecto
void comparar(byte car, byte braille[], int m)
{
  for (int n = 0; n < 6; n++)
  {
    if (bitRead(car, n) == (bitRead(braille[m], n)))
    {
      if (n == 5) palabra.concat(String(braille[m]));
    }
    return "incorrecto";
  }
}

//funcion que escribe una palabra en el signo generador
//de lectura activando o no los solenoides
void manda(String palabra) {
  for (byte i = 0; i <= 5; i++) {
    digitalWrite(i + 2, bitRead(braille[(palabra[0]) - 42], i));
  }
}

void loop() {
  if (digitalRead(14) == 1) //si se presiona el pulsador
  { //ejecuta la lectura de todos
    shift.update(); //los pines y su transformación
    for (int i = 48; i < 166; i++) //a caracteres utilizando el
      comparar(car1, braille, i); //método comparar
  }
}

```

```

    delay(500);

    String enviar = palabra;

    Serial.write(palabra[0]);
}

//realiza la lectura de lo que llega por comunicación serial,
//almacena en la variable palabra y luego ejecuta la función
//manda para escribir la palabra en el signo generador
//de lectura

//la palabra es el signo generador de # o letra y
//el caracter leído

while (Serial.available()) {
    letra = Serial.read();
    delay(300);          //Tiempo de lectura por caracter
    palabra.concat(letra);
}

manda(palabra);

if (palabra != "") {
    Serial.println(palabra); //Muestra la palabra completa
}
}

```

## ANEXO 6

### PROGRAMACIÓN EN BLOQUES DE LA APLICACIÓN EN APPINVENTOR

```
when CONECTAR . Click
do
  set ListPicker_BT . Selection to call BluetoothClient1 . Connect
  address ListPicker_BT . Selection
  set ListPicker_BT . Visible to false
  set CONECTAR . Visible to false
```

```
initialize global DATOS_LLEGADA to ""
initialize global DATOS_ENVIO to ""
```

```
when Clock1 . Timer
do
  if BluetoothClient1 . IsConnected
  then
    if call BluetoothClient1 . BytesAvailableToReceive > 0
    then
      set global DATOS_LLEGADA to call BluetoothClient1 . ReceiveText
      numberOfBytes call BluetoothClient1 . BytesAvailableToReceive
      call TextToSpeech1 . Speak
      message get global DATOS_LLEGADA
```

```
when hablar . Click
do
  call SpeechRecognizer1 . GetText
  set global DATOS_ENVIO to SpeechRecognizer1 . Result
```

```
when SpeechRecognizer1 . AfterGettingText
result partial
do
  call BluetoothClient1 . SendText
  text get global DATOS_ENVIO
```

```
when Clock2 . Timer
do
  set Clock2 . TimerInterval to Clock2 . TimerInterval
  set global DATOS_ENVIO to ""
  set global DATOS_LLEGADA to ""
```

