

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA  
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
ELECTRÓNICO

PROYECTO TÉCNICO:

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ASISTENTE ROBÓTICO  
PARA EL SOPORTE EN LA ENSEÑANZA DEL LENGUAJE  
BRAILLE EN NIÑOS DE 6 A 8 AÑOS

AUTOR:

ANTONNY DAVID GUZHÑAY LUCERO

TUTOR:

ING. VLADIMIR ESPARTACO ROBLES BYKBAEV

CUENCA – ECUADOR

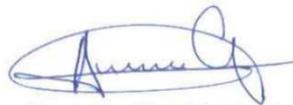
2018

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Yo, Antony David Guzhñay Lucero con documento de identificación N° 0104466974 manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación: **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ASISTENTE ROBÓTICO PARA EL SOPORTE EN LA ENSEÑANZA DEL LENGUAJE BRAILLE EN NIÑOS DE 6 A 8 AÑOS**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 17 julio del 2018



Antony David Guzhñay Lucero

CI: 0104466974

## CERTIFICACIÓN

Yo declaro que bajo mi **tutoría** fue desarrollado el trabajo de titulación: **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ASISTENTE ROBÓTICO PARA EL SOPORTE EN LA ENSEÑANZA DEL LENGUAJE BRAILLE EN NIÑOS DE 6 A 8 AÑOS**, realizado por Antony David Guzhñay Lucero, obteniendo el Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 17 de julio del 2018



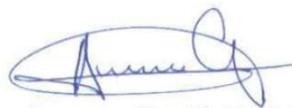
Ing. Vladimir Robles Bykbaev

CI: 0300991817

## **DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, Antony David Guzhñay Lucero con número de cédula CI. 0104466974, autor del trabajo de titulación: **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ASISTENTE ROBÓTICO PARA EL SOPORTE EN LA ENSEÑANZA DEL LENGUAJE BRAILLE EN NIÑOS DE 6 A 8 AÑOS**”, certifico que el total contenido del Proyecto Técnico es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, 17 de julio del 2018



Antony David Guzhñay Lucero

CI: 0104466974

## AGRADECIMIENTOS

*Se ha concluido una etapa muy especial de mi vida, y quiero agradecer a todas las personas que me apoyaron de una manera muy especial.*

*Gracias a todos mis compañeros que tuve a lo largo de toda mi etapa universitaria, pues las amanecidas y las largas horas de trabajo en los proyectos que se desarrolló, me permitió conocer una pequeña parte de su vida y apreciar los aspectos positivos por sobre los negativos.*

*Al Ingeniero Vladimir Robles, por todo el apoyo y el aprecio incondicional que siempre ha tenido conmigo, perdonándome las equivocaciones que he cometido y siendo paciente en momentos de mucha tensión, gracias por defenderme en tantas ocasiones, y sobre todo gracias por ser un gran amigo.*

*También quiero agradecer a todas esas personas que en algún momento necesite de su ayuda, y no me apoyaron, porque de todo se aprende, al final se convierte en una motivación más para buscar soluciones a las cosas y resolverlas de la mejor manera posible.*

*Agradecer el cariño a todas las personas que me rodearon en el transcurso del proyecto, porque realmente me gusta sorprender a la gente con prototipos novedosos y siempre quise que la gente vea mi deseo de poder realizar dispositivos de alta calidad.*

*A mi familia, vecinos, amigos y casi todos los integrantes de la cátedra UNESCO y el GI-IATA, gracias por la confianza que me dieron al momento de desarrollar el dispositivo, les prometo que, si vuelvo algún día con más conocimientos, realizare un mejor robot para los sectores prioritarios que lo necesiten.*

*A todo el personal del Instituto SONVA, la Unidad Educativa Claudio Neira Garzón y el Instituto IPCA, por abrirme las puertas y darme su punto de vista sobre el dispositivo, realizando recomendaciones importantes que en un futuro se puede implementar en prototipos con muchas más funcionalidades.*

*Antonny David Guzhñay Lucero*

## DEDICATORIA

La dedicatoria va principalmente para Dios nuestro creador, pues me dio el regalo de la vida y la fuerza para terminar este proyecto, pero mucho más importante me rodeo de varias inspiraciones para que yo pueda salir adelante.

Este logro se lo dedico a mi mamá, pues su deseo de ver realizado este sueño fue tan fuerte que me permitió anteponerme a las adversidades, la oportunidad que me brindo, hace que se merezca tener gran parte de mérito en este proyecto.

Se lo dedico a mi papá, pues siempre estuvo ahí como un apoyo latente, haciéndome ver que muchas veces la vida nos da oportunidades y debemos tratar de aprovecharlas.

A mi hermano Danny, pues me enseñó que muchas veces el camino no es fácil y toca sufrir, sin embargo, cuando se llega a la meta todo vale la pena y se disfruta mejor con los seres queridos.

A mi hermana Sonia, pues en ella veo la mayor representación de la constancia y el esfuerzo de una persona, siempre la tuve como un modelo a seguir, su deseo de superación hace que cada día la admire más.

A mi hermano William, pues me demostró que las injusticias están a la orden del día, sin embargo, me enseñó que un trabajo honesto y bien hecho te permite llevar la frente en alto en cualquier lugar que te encuentres.

Por ultimo dedicar a todas las inspiraciones que he tenido en mi vida, pues como lo dijo Antoine de Saint-Exupéry *“las estrellas son tan bellas, a causa de una flor que no se puede ver”*.

Antonny David Guzhñay Lucero

# ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	IV
DEDICATORIA .....	V
ÍNDICE GENERAL.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS .....	IX
ÍNDICE DE TABLAS .....	XII
ABSTRACT.....	XIII
RESUMEN .....	XIII
INTRODUCCIÓN .....	XIV
ANTECEDENTES DEL PROBLEMA DE ESTUDIO .....	XVI
JUSTIFICACIÓN (IMPORTANCIA Y ALCANCES) .....	XVII
OBJETIVOS .....	XIX
OBJETIVO GENERAL.....	XIX
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	XIX
CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA O ESTADO DEL ARTE.....	1
1.1 Sustento Teórico.....	1
1.1.1. Louis Braille y su sistema de LectoEscritura.....	1
1.1.2. Estructura del sistema Braille.....	3
1.1.3. La lectura Braille.....	5
1.1.4. El hoy del aprendizaje en Braille .....	6
1.1.5. El mañana del aprendizaje en Braille.....	7
1.2 Trabajos relacionados.....	8
CAPÍTULO 2: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL ASISTENTE ROBÓTICO .....	11
2.1 Arquitectura tecnológica del Asistente Robótico.....	11
2.2 Diseño electrónico de los componentes del Robot .....	13
2.2.1. Alimentación del asistente robótico .....	14

2.2.2.	Comunicación Serial .....	15
2.2.3.	Comunicación SPI.....	15
2.2.4.	Implementación de pulsantes del robot.....	16
2.2.5.	Conexión de los motores.....	17
2.2.6.	Sistema de audio del asistente robótico .....	18
2.3	Mecanismo para la introducción del código Braille .....	19
2.4	Diseño y elaboración del cubo Braille .....	22
2.5	Diseño de la placa electrónica PCB para los sensores .....	25
2.6	Diseño de las partes del asistente robótico.....	28
2.7	Construcción y armado del asistente robótico .....	32
CAPÍTULO 3: IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....		37
3.1	Diseño y desarrollo de actividades de aprendizaje en Braille.....	37
3.1.1.	Modo lectura en Braille.....	38
3.1.2.	Modo escritura en Braille.....	38
3.1.3.	Modo escribir palabras en Braille .....	38
3.2	Selección del lenguaje de programación adecuado.....	39
3.2.1.	Sintetizador de voz.....	39
3.2.2.	WiringPi .....	39
3.3	Ingreso de usuarios para cesiones de aprendizaje .....	40
3.4	Diseño de la base de datos .....	41
3.5	Diseño de reportes.....	42
CAPÍTULO 4: VALIDACIÓN DEL PROYECTO Y RESULTADOS .....		43
4.1	Modelos de encuesta .....	43
4.2	Aplicación del plan de pruebas .....	48
4.3	Análisis estadístico.....	50
4.4	Pruebas de laboratorio.....	52
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO .....		53
5.1	Conclusiones .....	53
5.2	Trabajo Futuro.....	55

5.2.1. Fase dos .....	55
5.2.2. Fase tres.....	56
5.2.3. Fase cuatro .....	56
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	58
6. ANEXOS .....	61
MANUAL DE USUARIO.....	61
Cubo Braille .....	61
Switch de encendido y apagado (ON/OFF) .....	62
Botón de selección de modo .....	62
Botón de verificación de respuesta .....	63
Botón de validación .....	63
Perilla para adelantar o retroceder la letra .....	64
Conexión de las baterías del robot .....	65
Conexión de audio en el robot .....	66
Acceso para inicio de sesión de trabajo .....	67
Modos de aprendizaje .....	67

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Retrato de Louis Braille en marfil realizado por Lucienne Filippi.....	1
Figura 2 Rafigraphe.....	2
Figura 3 Símbolo generador Braille.....	3
Figura 4 Serie Matriz o serie primitiva.....	3
Figura 5 Segunda serie de caracteres.....	4
Figura 6 Tercera serie de caracteres.....	4
Figura 7 Cuarta serie de caracteres.....	4
Figura 8 Quinta serie de caracteres.....	4
Figura 9 Sexta serie de caracteres.....	5
Figura 10 Séptima y última serie de caracteres.....	5
Figura 11 Arquitectura tecnológica del Asistente Robótico.....	11
Figura 12 Diagrama de distribución de los pines del Raspberry.....	13
Figura 13 Diagrama de distribución de los pines del Arduino PRO Micro.....	13
Figura 14 Eficiencia típica del Regulador de Voltaje Step/Down D24V10F5.....	14
Figura 15 Esquema de conexión del Regulador de Voltaje.....	14
Figura 16 Esquema de conexión de la comunicación Serial Raspberry y Arduino... ..	15
Figura 17 Esquema de conexión de la comunicación SPI.....	16
Figura 18 Esquema típico de conexión para los pulsantes.....	17
Figura 19 Esquema de conexión para el Encoder de rotación.....	17
Figura 20 Esquema de conexión para los motores con el Arduino.....	18
Figura 21 Esquema de conexión para el amplificador de audio.....	19
Figura 22 Propuesta del mecanismo para la detección de caracteres Braille.....	19
Figura 23 Prototipo de una pieza del cubo Braille.....	20
Figura 24 Esquema de conexión para los sensores CNY70.....	22
Figura 25 Diseño de las piezas del Cubo Braille realizado en Inventor.....	23
Figura 26 Diseño del eje de rotación del cubo Braille realizado en Inventor.....	23
Figura 27 Cubo Braille implementado.....	24
Figura 28 Diseño Esquemático del circuito realizado en EAGLE.....	26
Figura 29 Vista de la capa superior e inferior del diseño PCB.....	26
Figura 30 Simulación en 3D del diseño PCB de la placa electrónica.....	27
Figura 31 Tarjeta PCB fabricada, soldada y probada.....	27
Figura 32 Piezas de la parte superior del robot diseñadas en Inventor.....	29

Figura 33 Piezas de la parte inferior del robot diseñadas en Inventor .....	30
Figura 34 Piezas de acrílico con un espesor de 3mm.....	30
Figura 35 Piezas de acrílico con un espesor de 2mm.....	31
Figura 36 Ensamblado del Robot en el entorno grafico de Inventor .....	32
Figura 37 Entorno grafico del programa Repetier Host para impresión 3D .....	33
Figura 38 Impresión de las partes del Robot en la impresora Prusa .....	33
Figura 39 Partes del robot terminadas de imprimir.....	34
Figura 40 Piezas de acrílico cortadas a laser.....	34
Figura 41 Cableado y armado de los componentes del robot .....	35
Figura 42 Cableado de los componentes y ensamblado.....	35
Figura 43 Robot ensamblado completamente .....	36
Figura 44 Actividades propuestas para el asistente Robótico.....	37
Figura 45 Proceso de inicio de cesión para los alumnos.....	40
Figura 46 Base de datos Entidad-Relación del sistema .....	41
Figura 47 Ejecución del plan de pruebas con el asistente Robótico en la “Unidad Educativa Claudio Neira Garzón” .....	48
Figura 48 Ejecución del plan de pruebas con el asistente robótico en niños con discapacidad visual.....	49
Figura 49 Ejecución del plan de pruebas con el asistente robótico en la Sociedad de No Videntes SONVA.....	49
Figura 50 Distribución de docentes con discapacidad visual según edad, género, tipo de discapacidad e institución educativa donde laboran.....	50
Figura 51 Percepción de docentes con discapacidad sobre el cubo Braille. ....	50
Figura 52 Percepción de docentes con discapacidad visual sobre el Robot .....	51
Figura 53 Fase dos del asistente robótico de inclusión con la implementación de idiomas .....	55
Figura 54 Fase tres del asistente robótico de inclusión.....	56
Figura 55 Fase cuatro del asistente robótico de inclusión con la integración de app movil .....	57
Figura 56 Ubicación del Cubo en el asistente robótico.....	61
Figura 57 Ubicación del switch de ON/OFF y el botón selección de modo.....	62
Figura 58 Ubicación del botón de Verificación .....	63
Figura 59 Ubicación del botón de Validación.....	64
Figura 60 Ubicación de la perilla para adelantar o retroceder la letra .....	65

Figura 61 Ubicación de las Baterías en el asistente robótico.....	66
Figura 62 Salida de audio del asistente robótico.....	66
Figura 63 Proceso de inicio de sesión de trabajo en el asistente robótico .....	67
Figura 64 Secuencia de interacción en el modo lectura en Braille .....	68
Figura 65 Secuencia de interacción en el modo escritura en Braille .....	68
Figura 66 Secuencia de interacción en el modo escribir palabras en Braille.....	69

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Lista de componentes utilizados en el Robot.....	28
Tabla 2 Reporte de datos perteneciente a los alumnos .....	42
Tabla 3 Reporte de datos perteneciente a los docentes .....	42
Tabla 4 Tiempos de respuesta del asistente robótico .....	52

## **ABSTRACT**

The World Health Organization (WHO) states that 19 million children have vision problems, of which approximately 1.4 million have irreversible blindness. Children in this condition require access to teaching tools and educational materials to develop their knowledge since in some cases they do not have these resources. For these reasons, in this research paper, we describe a novel approach to support the learning process of the Braille system for children aged 6 to 8 years. Our proposal is based on a Braille cube and a robotic assistant. During the learning process, the child places the cube on the robot, and then the robot recognizes which letter was selected through a rotating symbol system. The robot was put to the test with 38 people (28 adults and 9 children) with different types of visual impairments showing functional integrality and, according to the teachers' response, capacity for its use as a learning tool.

## **RESUMEN**

La Organización Mundial de la Salud (OMS) afirma que 19 millones de niños tienen problemas de visión, de los cuales aproximadamente 1.4 millones presentan ceguera irreversible. Los niños en esta condición requieren acceso a herramientas de enseñanza y materiales de educación para desarrollar su conocimiento ya que en algunos casos no poseen estos recursos. Por estas razones, en este trabajo de investigación, describimos un enfoque novedoso para apoyar el proceso de aprendizaje del sistema de Braille para niños de 6 a 8 años. Nuestra propuesta se basa en un cubo de Braille y un asistente robótico. Durante el proceso de aprendizaje, el niño coloca el cubo en el robot, y luego, el robot reconoce qué letra fue seleccionada a través de un sistema rotativo de símbolos. El robot se puso a prueba con 38 personas (28 adultos y 9 niños) con diferentes tipos de impedimentos visuales mostrando integralidad funcional y, conforme la respuesta de los docentes, capacidad para su uso como herramienta de aprendizaje.

## INTRODUCCIÓN

De acuerdo a las últimas estimaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), 253 millones de personas viven con discapacidad visual. De este grupo humano, aproximadamente 36 millones son no videntes, mientras que 217 presentan pérdida visual que va del rango moderado hasta el severo. En la misma línea, es importante considerar los siguientes aspectos que destaca la OMS con respecto a la discapacidad visual:

- El 81% de las personas no videntes o con pérdida visual severa tienen 50 años de edad o más.
- Se debe mencionar que a nivel mundial las enfermedades oculares crónicas son la principal causa de pérdida visual.
- Alrededor del 80% de todas las deficiencias visuales pueden prevenirse o curarse.

Por otra parte, se estima que alrededor de 19 millones de niños presentan discapacidad visual o visión deteriorada. Por ello, dado que existen casos en los que no es factible recuperar la visión, los niños y jóvenes requieren conocer y manejar de una manera apropiada el sistema de lectura Braille. Este sistema se constituye en una herramienta de gran importancia, ya que posibilita que las personas no videntes puedan acceder a contenidos educativos, a información de utilidad para la vida diaria y a las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC).

Por ello, en este trabajo de investigación se presenta una novedosa herramienta para que los niños de 6 a 8 años puedan aprender el sistema Braille desde una visión completamente diferente: contar con un asistente robótico que acompaña el proceso de aprendizaje de una forma divertida y dinámica. Algunos de los aspectos más importantes de esta propuesta se detallan seguidamente:

- El asistente robótico es de bajo coste y se sustenta en software (C++ y SQLite) y hardware abierto (sistemas embebidos Raspberry Pi).
- A fin de seleccionar la letra que se desea aprender en sistema Braille, el niño emplea un sistema de símbolos rotativos colocados en un cubo. Luego de ello, el cubo se introduce en el robot y éste reconoce qué letra o símbolo se colocó.

- El robot provee estímulos auditivos al niño para indicarle si realizó de forma correcta el ejercicio.
- El sistema almacena los datos de los niños y los profesores en una base de datos. De igual forma se procede con los resultados de los ejercicios que desarrollan los niños.

La funcionabilidad del prototipo ha sido validada con 38 personas, 9 niños de la Unidad Educativa “Claudio Neira Garzón” y 28 adultos que realizan actividades educativas. Es importante mencionar que todas las personas con las que se trabajó presentan diversos grados de pérdida visual, y en el caso de los adultos, conocen muy bien el sistema Braille. Este último aspecto nos permitió constatar que el asistente robótico funcione de forma adecuada, y a la vez, presente los estímulos auditivos correctamente y en concordancia con el juego de símbolos del sistema Braille.

## **ANTECEDENTES DEL PROBLEMA DE ESTUDIO**

En la actualidad, la educación inclusiva es de suma importancia para la sociedad, primero debemos tener en cuenta que la educación es un derecho humano, y segundo que la educación inclusiva no está diseñada solo para las personas con algún tipo de discapacidad, sino más bien es una alternativa para todas las personas que a lo largo de la vida pueden tener la pérdida de algún sentido que se deteriora con el transcurrir del tiempo, es decir cada humano tiene una condición latente de discapacidad, y las personas que ya poseen algún tipo de discapacidad, deben poder realizar su estudios en un marco más inclusivo [1].

Las personas con discapacidad visual desarrollan una inteligencia espacial para poder generar un lenguaje de comunicación con la ayuda de su sentido de tacto. Esta habilidad les permite a través de formas darle un significado en concreto a alguna frase o palabra, para esto realizan un proceso de memorización de códigos del sistema de lectura y escritura. La lectura de textos en Braille requiere que la persona no vidente aplique un desplazamiento adecuado de la mano a lo largo de un texto perforado [1], En los postulados de Marrakech [2] se indica que las personas con discapacidad visual no solo mantienen dificultades de acceso a textos impresos, sino que también perjudica su libertad de expresión, impidiéndoles desarrollar un educación adecuada.

Las tecnologías modernas han permitido el desarrollado de nuevas herramientas para la enseñanza en centros educativos especiales, obteniendo resultados favorables en la enseñanza de letras, números, caracteres, etc. Este tipo de instrumentos resultan novedosos para el usuario y en el mejor de casos hasta entretenidos, haciendo de la educación algo no tan cotidiano, sino más bien un ejercicio placentero. En este escenario se favorece al desarrollo acelerando del aprendizaje, brindando la posibilidad al docente de elaborar y ejecutar planes de trabajo mucho más extensos. Herramientas que faciliten el aprendizaje beneficiarían directamente a las personas no videntes, evitando así que estas pierdan información valiosa debido a procesos de aprendizaje de lectura y escritura tradicionales que pueden extenderse por largos periodos.

## JUSTIFICACIÓN (IMPORTANCIA Y ALCANCES)

El uso de robots es muy común hoy en día, se los puede ver en procesos automatizados generando millares de productos en un corto lapso de tiempo, existen otros que realizan procesos quirúrgicos con una gran precisión, mientras en el mercado infantil vemos una gran variedad de robots que son utilizados por los niños como juguetes, donde llevan integrado un gran número de aplicaciones que le permite al niño no solo divertirse, sino aprender de cierta manera cosas que a simple vista no son apreciables, como el sentido de orientación, el uso de las extremidades para realizar cierto tipos de funciones, etc. Aprovechando este tipo de atención de los niños hacia estos dispositivos de enseñanza, se han desarrollado dispositivos capaces de enseñar el abecedario, los colores, los números, y la mayoría de cosas que los niños aprenden a corta edad, todo con el fin de facilitarle más la enseñanza [3] [4] [5] [6].

Existe en el Mercado varios tipos de instrumentos con los cuales se puede desarrollar una educación enfocada a niños con o sin discapacidad, está por ejemplo el Robot Humanoide *NAO H25 Aldebaran*, que interactúa con el usuario, realizando acciones con movimientos, bailes, conversaciones, etc. También existe otros dispositivos como *Lego MindStorms Robotics*, lo que permite al niño desarrollar la capacidad de crear y programar sus propios robots, sin embargo, este tipo de Instrumentos no son tan accesibles para los centros de educación especial, mucho menos para un niño que no posee los recursos para adquirir una de estas herramientas de aprendizaje [4] [7].

El desarrollo de estas herramientas de aprendizaje requiere un trabajo conjunto con niños con o sin discapacidades, así también con los docentes de instituciones especiales y no especiales, y por último se incluye a docentes especializados en el área de educación inicial, todo esto con el único fin de conocer las necesidades que estos requieren al momento de transmitir algún tipo de información entre el docente y el alumno, tratando de engranar ciertos conceptos para poder obtener un resultado más favorable al desarrollo de prototipo.

En la actualidad, se desarrollan proyectos de inclusión educativa, permitiendo que no solo las personas con discapacidad puedan utilizar prototipos para su

desenvolvimiento académico, más bien se desea que las personas sin discapacidad puedan utilizar estos dispositivos para aprender nuevas formas de comunicación como el sistema Braille o el lenguaje de señas, permitiendo así que se pueda tener una sociedad más inclusiva [8].

Tomando en cuenta lo antes mencionado, se desea realizar un asistente robótico de bajo precio de elaboración, para que los centros educativos de educación especial puedan acceder al mismo y tengan una herramienta de apoyo para los docentes de dichas entidades. Además, permitir a los niños de edades comprendidas entre los 6 y los 8 años con o sin discapacidad visual, aprender el sistema de lectura y escritura en Braille, tratando de promover así una sociedad más inclusiva desde su infancia. Para ello, contando con el trabajo de planteles educativos y personas especializadas en el área de educación, se desea obtener un producto de educación Inclusiva.

# **OBJETIVOS**

## **OBJETIVO GENERAL**

- Diseñar y construir un asistente robótico electrónico para el soporte en la enseñanza del lenguaje Braille en niños de 6 a 8 años.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Estudiar los aspectos más relevantes del lenguaje Braille en español y su proceso de enseñanza en niños de 6 a 8 años.
- Diseñar y construir un asistente robótico para el soporte de la enseñanza del lenguaje Braille en niños de 6 a 8 años, contando con el apoyo de profesionales del área de educación.
- Diseñar y desarrollar un conjunto de módulos de software que se programaran en el dispositivo embebido y que cumplirá con distintas funcionalidades de enseñanza Braille.
- Diseñar y ejecutar un plan de experimentación que permita validar la funcionalidad del asistente robótico en una institución de educación especial asociada a la Cátedra UNESCO de la UPS.

# CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA O ESTADO DEL ARTE

## 1.1 SUSTENTO TEÓRICO

### 1.1.1. LOUIS BRAILLE Y SU SISTEMA DE LECTOESCRITURA

Louis Braille nació el 4 de enero de 1809 en Coupvray, Francia. Debido a un accidente en el taller de su padre perdió el sentido de la vista a la edad de tres años. Sin embargo, Louis asistió a la escuela de su pueblo desarrollando una audición de alto rendimiento y una capacidad de memoria notable, además de ayudar a su padre talabartero en la fabricación de arneses, lo que le permitió desarrollar su capacidad del tacto [9] [10].



**Figura 1** Retrato de Louis Braille en marfil realizado por Lucienne Filippi  
Fuente: *Who is Louis Braille* [10]

A la edad de 10 años Louis se une al “l'Institution Royale des Jeunes Aveugles à Paris” (La Real Institución para Jóvenes Ciegos en París IRJA), donde a los estudiantes con discapacidad visual se le enseñaba a leer y escribir con letras de gran relieve, lo que provocaba la limitación en el descifrado de los caracteres y tomaba una gran cantidad de tiempo para su escritura. Este aspecto dificultaba el aprendizaje de áreas como la aritmética, la geometría, la gramática, el latín, etc. Principalmente Louis se sentía atraído por la música y este sistema no le convenía para su aprendizaje, por lo que tenía que recurrir a memorizar partituras musicales mediante procesos de repetición, tratando de grabarse cada una de las notas que componían la canción [9].

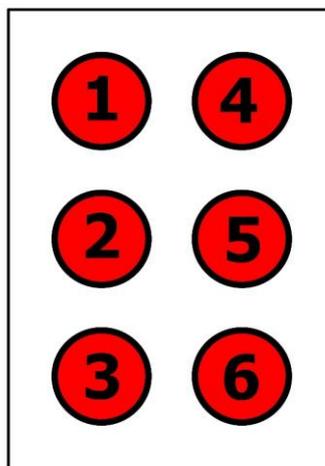
En el año 1921, un oficial de artillería retirado perteneciente al ejército de Napoleón, presentó al IRJA su sistema de puntos en relieves para representar sonidos, esto lo utilizó en el campo de batalla ya que la mayoría de sus soldados eran analfabetos. A Louis le interesó este tipo de sistema, ya que en comparación con el sistema de alto relieve era más accesible y rápido. Sin embargo, tenía problemas de transcripción para notas musicales o problemas aritméticos, por lo que Louis dedicó gran parte de su tiempo en mejorarlo. Logró adaptar su sistema a las necesidades que él tenía, haciéndolo más simple de entender y memorizar. Su objetivo era que los niños puedan aprender más rápido este proceso de escritura y que los padres también entendieran este sistema, el junto con sus compañeros del IRJA quería que todas las áreas de conocimiento estén al alcance de las personas con discapacidad visual, teniendo como referencia un tablero en donde estaban encriptadas las formas de letras y números del sistema por el momento ya reconocido como Braille. Con ayuda de su gran amigo Foucault, diseñaría el Rafigraphé que se conoce como la primera máquina de escribir en Braille. En la Figura 2 se muestra este dispositivo [9] [10].



**Figura 2 Rafigraphé**  
**Fuente:** *Louis BRAILLE* [9]

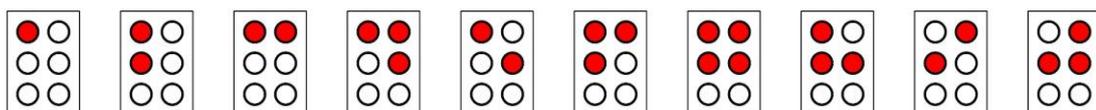
### 1.1.2. ESTRUCTURA DEL SISTEMA BRAILLE

Louis Braille tuvo en consideración que su sistema de lectoescritura debe tener una captación táctil eficaz, es decir, debe realizarse sobre objetos sencillos y con una estructura geométrica para lograr su mejor comprensión. Por ello, al tratar que el objeto tangible sea lo más simple y esquemático posible surge el hallazgo del llamado *símbolo generador*, siendo la fuente y matriz de cada uno de los caracteres Braille. Como se indica en la Figura 3 este símbolo lo conforman seis puntos dispuestos en dos columnas de tres cada una, cada punto tiene un número que lo identifica [11] [12].



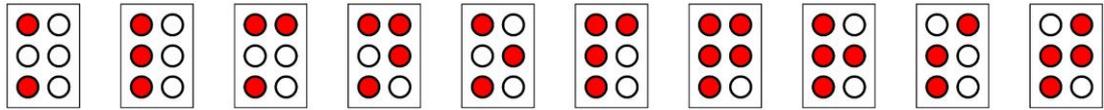
**Figura 3 Símbolo generador Braille**  
Fuente: *Autor*

Empleando los seis puntos del código generador, se puede obtener hasta 64 combinaciones posibles, con lo cual cada combinación representa un carácter del alfabeto o un signo de puntuación diferente. Estas combinaciones se las distribuye en series lógicas. La primera de ellas se la conoce como la matriz serie o primitiva y corresponde a las primeras diez letras del alfabeto, las siguientes series aumentan su dificultad aumentando puntos a sus combinaciones. A continuación, se muestra las series que conforman el sistema Braille [11].



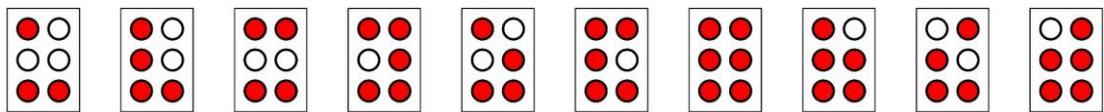
**Figura 4 Serie Matriz o serie primitiva**  
Fuente: *Autor*

La segunda serie resulta simplemente de añadir a la primera el punto 3. Como se ve en la Figura 5.



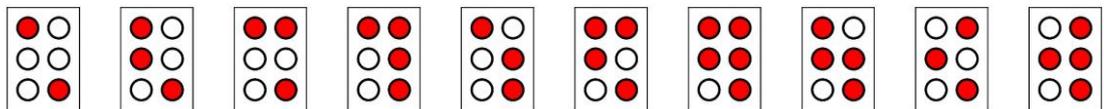
**Figura 5 Segunda serie de caracteres**  
Fuente: Autor

A su vez, la tercera serie es el resultado de añadir a la primera los puntos 3 y 6. En la Figura 6 sus formas correspondientes.



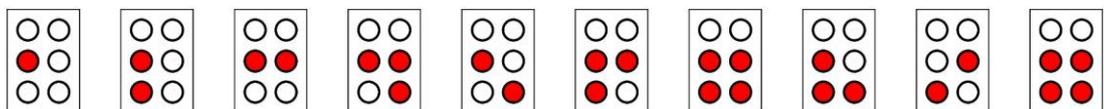
**Figura 6 Tercera serie de caracteres**  
Fuente: Autor

La cuarta serie es idéntica a la primera con el añadido del punto 6. Se muestra en la Figura 7.



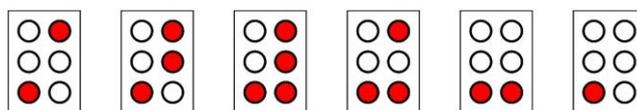
**Figura 7 Cuarta serie de caracteres**  
Fuente: Autor

En la quinta serie los caracteres de la primera se desplazan a la parte inferior del símbolo generador. Se indica en la Figura 8.



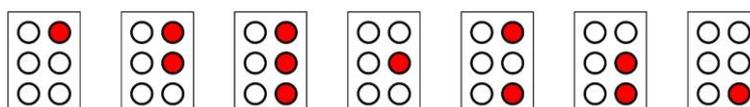
**Figura 8 Quinta serie de caracteres**  
Fuente: Autor

A su vez, la composición de la sexta serie se basa en las formas obtenidas al combinar el punto 3 con todas las posibles ubicaciones de los puntos de la derecha del cajetín, exceptuando, claro está, las ya obtenidas en anteriores series. Se muestra a continuación en la Figura 9.



**Figura 9 Sexta serie de caracteres**  
Fuente: *Autor*

Finalmente, la séptima serie resulta simplemente de agrupar, en diferentes formas combinatorias, a la derecha del código generador. Como se muestra en la Figura 10.



**Figura 10 Séptima y última serie de caracteres**  
Fuente: *Autor*

### 1.1.3. LA LECTURA BRAILLE

Se puede hablar de la lectura Braille como un lenguaje táctil, donde el lector tiene que desplazar sus dedos principalmente el índice de izquierda a derecha sobre la forma geométrica de cada carácter Braille también conocidos como grafemas. De esta forma, el reconocimiento lector se lo hace de letra en letra asociando los caracteres el uno con el otro para así conformar la palabra, y las palabras entre sí para formar la frase, a este proceso se lo conoce como analítico-asociativo [11].

Para los niños generalmente el aprendizaje del sistema de lectoescritura se desarrolla en base a una educación del tacto, en donde se le debe enseñar a reconocer texturas principalmente. De este modo él podrá utilizar sus manos y dedos como herramienta para percibir el mundo, distinguiendo variedades de texturas como cosas suaves o ásperas y abriéndole camino a un proceso de descubrimiento personal e intelectual, por otro lado, se le enseña a distinguir formas y tamaños tomando como apoyo las figuras geométricas indicándoles como es su contorno, se le enseña a distinguir los tamaños de figuras iguales, para que desarrolle su comprensión al momento de distinguir cada uno de los caracteres que si bien se sabe tiene la misma textura pero formas diferentes para cada uno de los caracteres [11] [12].

#### **1.1.4. EL HOY DEL APRENDIZAJE EN BRAILLE**

El sistema Braille ha sido adaptado en diferentes contextos en la sociedad, hoy se puede encontrar en productos de mercado, en botones de los asesores, en numeración de aulas, etc., permitiendo ayudar a las personas con discapacidad visual a acceder a información a la que en tiempo anteriores requería de una asistencia de otra persona que pudiese ver y leer. Sin embargo, la enseñanza del sistema Braille tiene ciertos aspectos negativos [10] [13], que se los puede apreciar en la actualidad:

-La falta de interacción. Entre los niños con discapacidad visual que aprenden el sistema Braille en centros de educación especial, se nota la falta de interacción que tienen entre ellos en el aula y los patios del colegio, es decir, aprenden el Braille, pero no lo ponen en práctica para desarrollar más el aprendizaje del mismo entre ellos [13].

-La falta de recursos. Muchos materiales indispensables para el aprendizaje del sistema Braille son poco comunes y a la vez costosos, lo que limita el desarrollo del conocimiento en los niños con discapacidad visual, muchas veces estos materiales se los encuentra en otros países y el proceso de importación suele ser una limitante para la adquisición de dichos implementos, por otra parte, los dispositivos de más alta tecnología son inaccesible para muchos padres de familia pues el precio es abrumador y no los adquieren [13].

-La falta de propósito personal. Los adolescentes que en su infancia no aprendieron el sistema de lectoescritura Braille, no ven el propósito aprender o de mejorar el conocimiento del mismo. Consideran que las tecnologías basadas en audio son suficientes para generar una retroalimentación textual, y no ven necesario realizar un esfuerzo en utilizar los componentes Braille para el desarrollo de su conocimiento [13].

-La falta de motivadores. Cuando el niño termina su jornada educativa en su institución deja de utilizar el sistema Braille en su hogar, es decir hace falta el uso de motivadores externos, en este caso los familiares, para que el niño siga desarrollando su habilidad y conocimiento con el sistema, se puede ser un motivador al realizar juegos didácticos para generar entusiasmo por practicar y mejorar las habilidades de la lectura [13].

### **1.1.5. EL MAÑANA DEL APRENDIZAJE EN BRAILLE**

Al adaptar el alfabeto Braille en dispositivos con nueva tecnología, surgen otras posibilidades de la enseñanza en Braille, con las capacidades de almacenamiento y métodos de comunicación de los dispositivos móviles, permiten que el Braille pueda ser usado de una forma más interactiva, posibilitando a los docentes emplear aplicaciones donde desarrollen las destrezas del sistema Braille generando un ambiente de colaboración y competencia entre los estudiantes [13] [14].

Una forma muy común para llegar a los niños y generar un aprendizaje implícito son los juegos electrónicos, estos presentan una motivación extra e inclusive permite a los niños aprender sin siquiera darse cuenta. Proporcionar juegos donde reciben estímulos vibratorios o auditivos que representan personajes, palabras o preguntas que tienen que responder correctamente y lo más rápido posible. Se puede implementar juegos colaborativos donde se utilice el sistema Braille para el desarrollo de acertijos o resolución de problemas numéricos [13] [14].

## 1.2 TRABAJOS RELACIONADOS

En la actualidad existen varias propuestas para apoyar los procesos de aprendizaje y enseñanza del sistema Braille tanto para la lectura como para la escritura. En esta línea, [15] presenta un software llamado "Visual Braille Trainer" (VBT) que destaca la importancia de enseñar letras en Braille a las personas videntes. Los autores probaron la herramienta con cuatro participantes de pregrado con diferentes edades (39, 19, 20 y 22 años) durante seis sesiones de capacitación (cada una con una duración de hasta 1 hora). Esta herramienta tiene seis módulos: a) entrenamiento de letras (para enseñar las relaciones entre las 26 letras del alfabeto y sus correspondientes caracteres en Braille), b) numeral, símbolo y entrenamiento de puntuación, c) entrenamiento de contracción de palabras enteras de A a C ( tres módulos para enseñar 150 contracciones de palabras enteras), y d) entrenamiento de contracción de combinación de letras (37 contracciones de combinación de letras divididas en siete subconjuntos que contienen cuatro, cinco o seis pares de estímulos). En cada prueba, el VBT registró automáticamente las respuestas de los participantes y presentó un carácter en Braille y una matriz de cinco o seis caracteres impresos en un formato de opción múltiple. El tiempo promedio para que los participantes completen el entrenamiento en los seis módulos fue de 2 horas y 5 minutos. Estos módulos de instrucción resultaron en puntajes de precisión promedio de 96.8% en las sondas que inmediatamente siguieron el entrenamiento [15].

En una línea similar, en [16] los autores presentan un sistema electrónico de capacitación en Braille para automatizar el proceso de enseñar del alfabeto inglés Braille a un usuario ciego del primer grado de educación. Esta herramienta se basa en cuatro subunidades interconectadas que tienen las siguientes funcionalidades:

- Subunidad para detectar pulsaciones: detecta las entradas introducidas por los usuarios y las envía a la unidad de control principal en formato ASCII.
- Sistema de levantador de botones: es responsable de levantar un subconjunto de seis botones que forman la representación en Braille de una letra del alfabeto inglés.
- Unidad de voz: proporciona comandos e informa a los usuarios si las letras de Braille se introducen correctamente.

- Unidad de control principal: es la responsable de coordinar el funcionamiento de las otras tres subunidades.

Los autores afirman que se explora y confirma la viabilidad de diseñar e implementar un sistema electrónico de capacitación en Braille de bajo precio, financieramente adecuado para la mayoría del 90% de las personas ciegas o deficientemente visuales que casi no tienen acceso a la educación formal [16].

En [17] se presenta un enfoque novedoso que utiliza seis actuadores vibrotáctiles que permiten a las personas ciegas leer textos. El dispositivo llamado "UbiBraille" puede actuar simultáneamente con los dedos índice, medio y anular de ambas manos con el objetivo de proporcionar una salida mnemónica rápida. Esta propuesta, al igual que los siguientes trabajos, tiene como objetivo proporcionar diferentes formas de presentar las celdas de Braille de seis puntos para personas ciegas:

En [18] los autores presentan el sistema "V-Braille" en el que la pantalla de un dispositivo móvil se divide en seis regiones, y cuando el usuario toca cualquier ubicación dentro de una celda que representa un punto elevado, el dispositivo vibra.

En [19] se desarrolló una investigación para presentar la célula Braille de seis puntos en dispositivos móviles con pantalla táctil con una salida táctil. En esta contribución, los autores concluyen que ofrecer un patrón (a través de un ritmo) de retroalimentación correspondiente a cada punto en el patrón de código Braille (separados por períodos de silencio) es el método más eficiente y positivamente recibido.

En [20] también se propone un método vibro-táctil para presentar caracteres de Braille en dispositivos móviles. Cada carácter está representado por dos patrones de vibración (uno por columna) que se inspiraron en el código Morse. Los resultados muestran que la discriminación de caracteres puede alcanzar el 90% de precisión, sin embargo, aprender patrones vibro-táctiles puede requerir largas fases de entrenamiento.

Por otro lado, en [21] se presenta una plataforma educativa que utiliza herramientas de identificación por radiofrecuencia (RFID) y ontologías para apoyar el aprendizaje del sistema braille chino. Según los autores, la plataforma, llamada

"OntoBraille@RFID" (OBR), utiliza la teoría ontológica con el objetivo de recuperar el conocimiento de Braille para facilitar el aprendizaje, y se basa en herramientas de RFID de bajo costo para la identificación de caracteres en Braille. Al igual que otros dispositivos, OBR implementa un sistema de voz que admite el aprendizaje independiente por parte de los estudiantes. Según los autores, la arquitectura de la herramienta RFID se puede dividir en tres partes principales: etiqueta electrónica, lector y software de aplicación del sistema. En esta línea, las etiquetas RFID pertenecen a dos tipos: activa y pasiva, dependiendo de la fuente de energía. La herramienta se basa en cubos de Braille acrílicos con las siguientes dimensiones: 32.8 mm de largo, 23.8 mm de ancho y 1.8 mm de alto. Cada cubo tiene seis puntos de plástico hemisféricos (2 mm) que forman los puntos protuberantes de Braille en la superficie del lado frontal. Una etiqueta única y su texto impreso correspondiente están pegados en el lado opuesto. El texto impreso ayuda a los maestros o padres a entender el significado del carácter o símbolo de RFID. La singularidad de cada etiqueta RFID proporciona un medio efectivo y plausible para distinguir e identificar los caracteres y símbolos de Braille. El dominio de la taxonomía ontológica expresa los conceptos pertinentes de Braille como clases y sus relaciones padres: hijo como enlaces "isa". El nodo raíz usa varios campos para definir la semántica de la clase fonética, y cada campo representa un atributo fonético, por ejemplo, sonido, tono, orden, posición de Braille, etc. [21]

## CAPÍTULO 2: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL ASISTENTE ROBÓTICO

### 2.1 ARQUITECTURA TECNOLÓGICA DEL ASISTENTE ROBÓTICO

En la Figura 11 se puede observar el diseño de la arquitectura tecnológica del Asistente Robótico, en esta se encuentra el dispositivo central y los periféricos acoplados para el funcionamiento de todo el sistema.

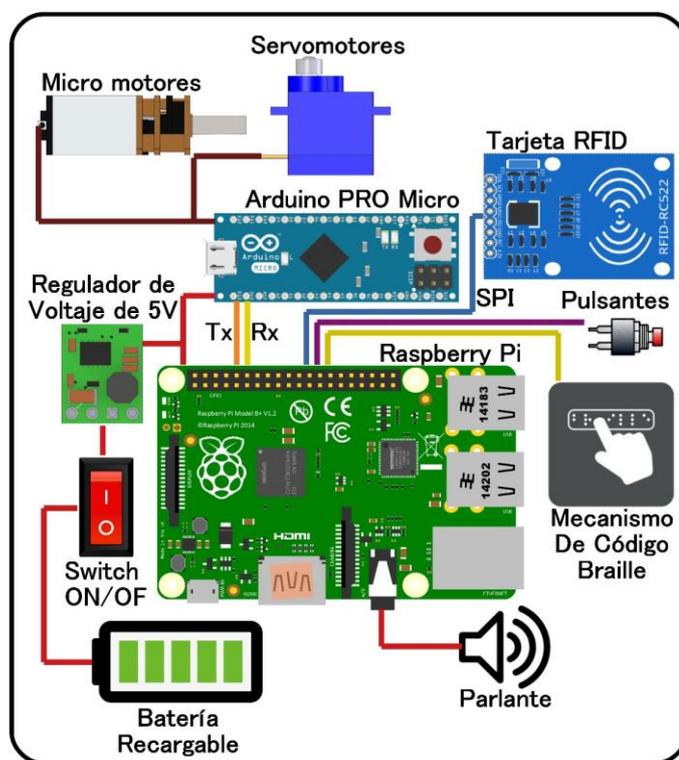


Figura 11 Arquitectura tecnológica del Asistente Robótico  
Fuente: Autor

El dispositivo posee como sistema central un Raspberry Pi que es el encargado de gestionar todos los procesos del asistente robótico. En dicho dispositivo se encuentra la base de datos del sistema de lectura y escritura en Braille para la interacción de la enseñanza con el usuario. Por otra parte, el módulo de comunicación SPI que viene integrado en el dispositivo central es utilizado para interactuar con una tarjeta RFID, la cual servirá para el acceso del usuario a una nueva sesión de aprendizaje que al final registrará sus respuestas en reportes que permitirán monitorear su progreso mientras interactúa con el asistente robótico. El Raspberry posee una comunicación serial con un Arduino Pro Micro, mediante este puerto de comunicación se le enviará las órdenes para la ejecución del movimiento de las extremidades que dependen de las respuestas que presente el usuario. Por ello, la tarjeta Arduino se encargará de controlar la posición y velocidad de los motores, de esta manera se evita que la tarjeta Raspberry tenga que realizar esta tarea en términos tanto de procesamiento como en consumo energético. Con ello, tiene la oportunidad de realizar acciones más importantes como el registro de las respuestas o la generación de los reportes.

El mecanismo del código Braille es el medio de comunicación entre el sistema y el usuario, le permite presentarle las respuestas que el asistente robótico solicite, aprovechando la salida de audio que viene integrada en el Raspberry, se presentan los requerimientos y también se responde a la acción que dio el usuario con estímulos auditivos de un sintetizador de voz.

Los pulsantes son utilizados para la interacción con el robot, permitiendo seleccionar el modo de operación, adelantar o repetir ejercicios de trabajo y verificar o validar respuestas que el usuario le presente al dispositivo.

Para el funcionamiento de todos los componentes del sistema se necesita una fuente de alimentación de 5 voltios de corriente continua, la mayoría de baterías recargables no ofrecen este nivel de tensión, por lo que se integra un regulador de voltaje para mantener estable la alimentación de cada uno de los periféricos que son utilizados por todos los circuitos. De igual forma, se ha implementado un switch ON/OFF para el encendido o apagado de todo asistente robótico.

## 2.2 DISEÑO ELECTRÓNICO DE LOS COMPONENTES DEL ROBOT

En base a la arquitectura de robot que se observa en la Figura 11, se procede a identificar cada uno de los componentes electrónicos que se utiliza, además del número de pines que requiere para su correcto funcionamiento tanto en el Raspberry como en el Arduino. Para ello se diseñaron dos diagramas de distribución donde se identifica la conexión de cada periférico en un espacio determinado. En la Figura 12 y Figura 13 se observa detalladamente esta distribución.

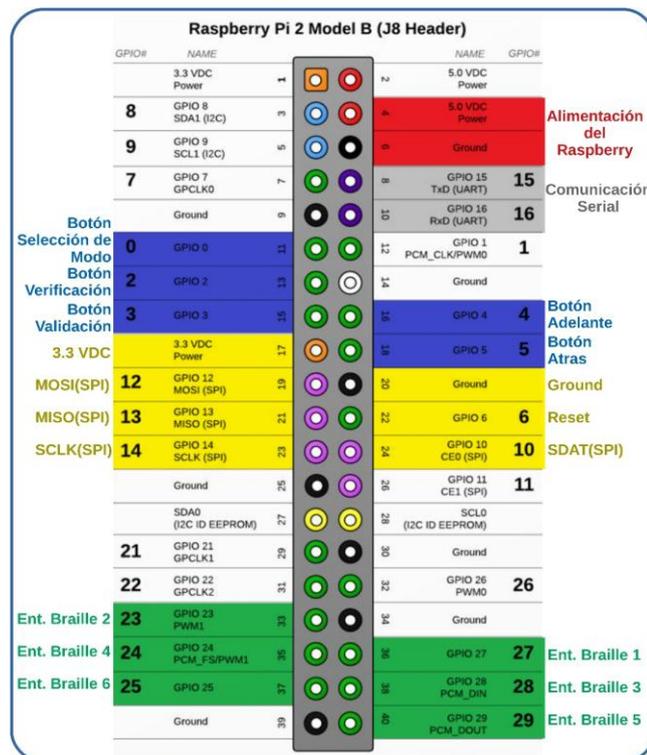


Figura 12 Diagrama de distribución de los pines del Raspberry  
Fuente: Autor

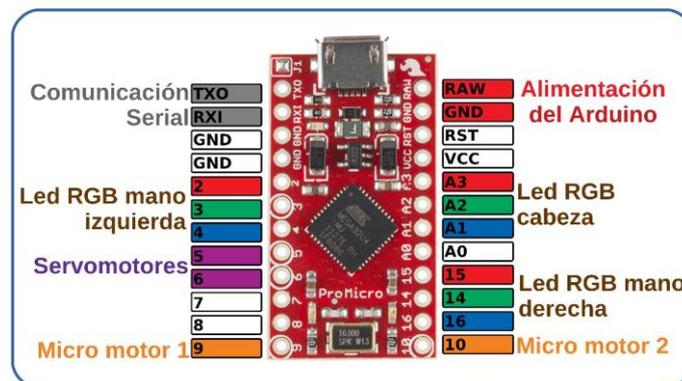


Figura 13 Diagrama de distribución de los pines del Arduino PRO Micro  
Fuente: Autor

## 2.2.1. ALIMENTACIÓN DEL ASISTENTE ROBÓTICO

La alimentación del Raspberry Pi y el Arduino es de suma importancia, su valor de voltaje de 5V debe ser constante, debido a esto se realiza la implementación de un regulador de Voltaje Step-Down 5V/1A D24V10F5 de la marca Pololu. Este dispositivo permite mantener constantemente alimentado al sistema con una salida de 5V cuya carga requiere un máximo de corriente de hasta 1A, obteniendo valores de salida con una eficiencia del 85% al 90% como se puede apreciar en la Figura 14, dependiendo del voltaje de entrada que puede ser hasta de 36V de corriente continua. De igual forma, este dispositivo nos permite alimentar al asistente robótico con baterías que almacenan gran cantidad de tensión y aprovechar ese almacenamiento de energía para un funcionamiento más prolongado del dispositivo. En la Figura 15 se muestra el esquema de conexión del regulador.

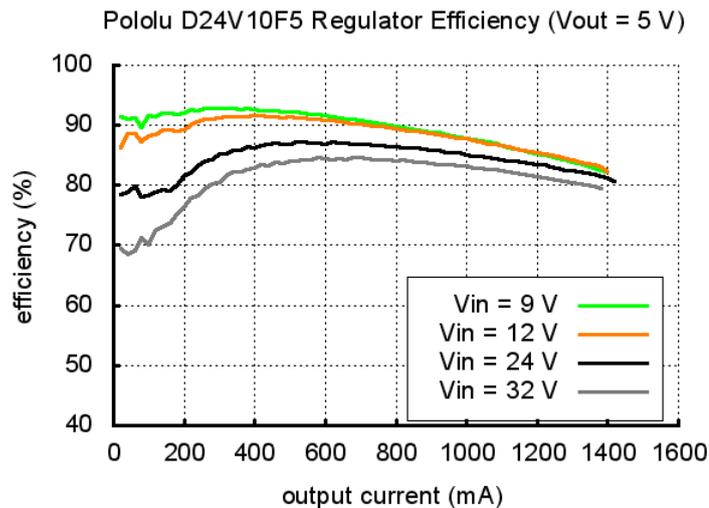


Figura 14 Eficiencia típica del Regulador de Voltaje Step/Down D24V10F5

Fuente: <https://www.pololu.com/product/2831>

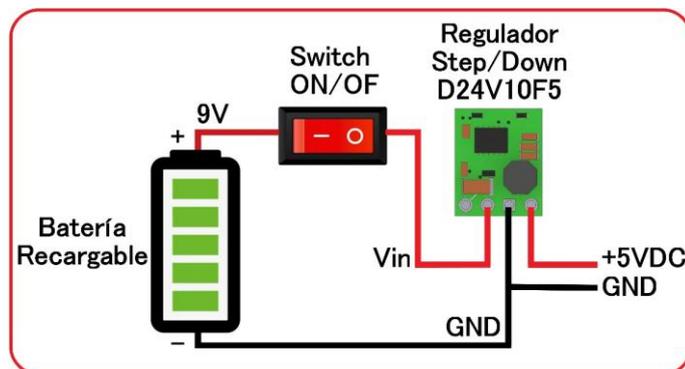


Figura 15 Esquema de conexión del Regulador de Voltaje

Fuente: Autor

### 2.2.2. COMUNICACIÓN SERIAL

Para la comunicación serial entre el Raspberry y el Arduino Pro Micro, se requiere estrictamente que ambos posean la misma tasa de transmisión de datos, que para este caso es de 9600 baudios. Este aspecto se debe programar en la inicialización del puerto serial de cada uno de los dispositivos, considerando el lenguaje de programación que se esté usando para cada uno de ellos. Igualmente, es importante mencionar que en la conexión se debe tener el pin TX del Raspberry conectado con el pin RX del Arduino y el pin RX del Raspberry deberá conectarse con el pin TX del Arduino, mientras que para completar la conexión y garantizar el nivel lógico de los datos, se deben unir las dos tierras (GND) de cada dispositivo, como en la Figura 16.

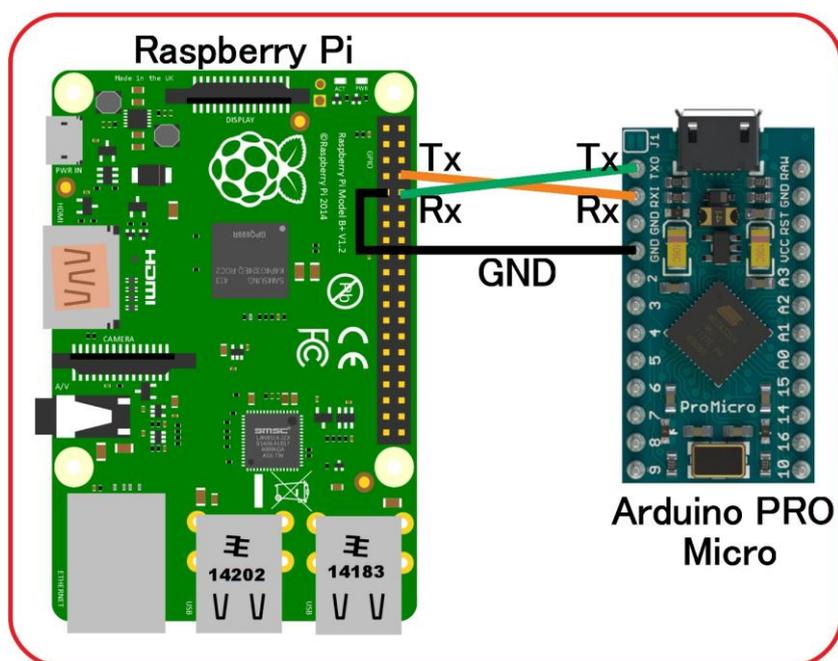
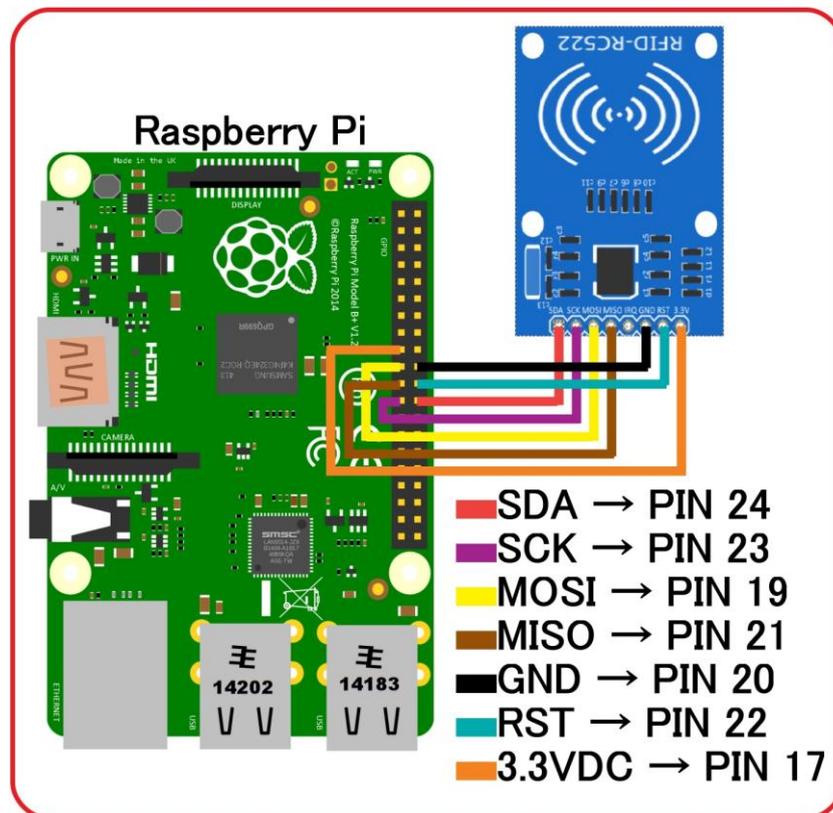


Figura 16 Esquema de conexión de la comunicación Serial Raspberry y Arduino  
Fuente: Autor

### 2.2.3. COMUNICACIÓN SPI

La comunicación SPI entre la tarjeta RFID y el Raspberry, no presenta mayor complicación para la función que está destinada a cumplir en el asistente robótico, a pesar de que este protocolo de comunicación puede manejar desde un maestro a varios esclavos (haciendo de la programación y el armado del circuito electrónico una tarea bastante extensa). Sin embargo, para nuestro caso no se verá involucrada

esta problemática ya que solo se necesitará de un maestro (Raspberry) y un esclavo (tarjeta RFID). En cuanto a la interconexión de estas dos tarjetas, el dispositivo central tiene los pines reservados para la implementación del protocolo de comunicación. En la Figura 17 se muestra el esquema de conexión para el correcto funcionamiento del protocolo de comunicación.

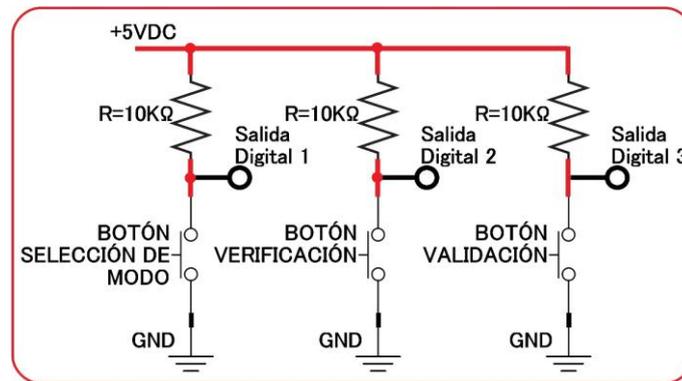


**Figura 17** Esquema de conexión de la comunicación SPI  
Fuente: Autor

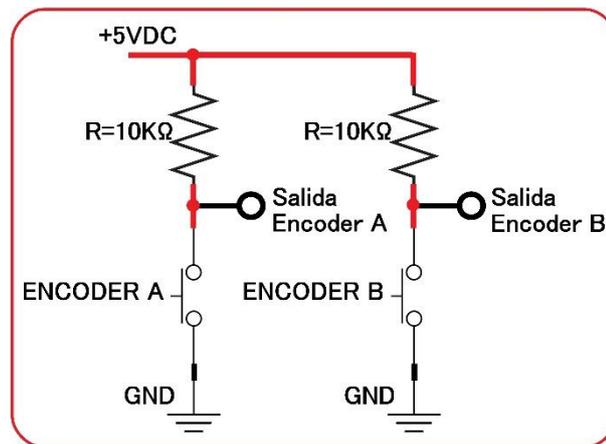
#### 2.2.4. IMPLEMENTACIÓN DE PULSANTES DEL ROBOT

El uso de pulsantes para la interacción entre el usuario y el asistente robótico es una de las partes fundamentales del esquema electrónico del robot, si se observa la Figura 12, se tienen 5 pulsantes para cumplir determinada función. Sin embargo, se emplearán 3 pulsantes para la selección de modo, validación y verificación, mientras que las funciones de adelante y atrás serán sustituidas por un encoder de rotación. Este último tiene el aspecto físico de un potenciómetro con la diferencia de que posee giros infinitos en sentido horario y anti-horario, el giro del encoder convierte la posición angular en un valor digital o por pulsos, permitiendo cumplir las funciones

de adelantar o retroceder las actividades del asistente robótico. En la Figura 18 y en la Figura 19 se muestran los esquemas tradicionales de conexión de los pulsantes.



**Figura 18** Esquema típico de conexión para los pulsantes  
Fuente: Autor



**Figura 19** Esquema de conexión para el Encoder de rotación  
Fuente: Autor

### 2.2.5. CONEXIÓN DE LOS MOTORES

Como ya se mencionó anteriormente, la tarjeta Arduino realiza la función de controlar los micro-motores y los servomotores con el fin de disminuir el consumo de procesamiento al procesador central (Rapsberry). Por ello, esta tarjeta es la intermediaria para realizar funciones de movimiento de las extremidades del Robot como respuesta ante un estímulo, para el caso de los servomotores se utiliza los modelos SG90, ya que son pequeños y no se necesita de gran torque ya que no manipula cargas muy pesadas. Por otro lado, se utilizó un par de micro-motores especiales con modelo MOT\_0728 de la marca Pololu con la interfaz DFRobot

"Gravity". Este motor posee un *driver* incorporado que permite realizar el control de velocidad e inversión de giro mediante un solo pin de comunicación, es decir, se puede controlar igual que un servomotor, pero obviamente sus movimientos no están restringidos en ángulos concretos, más bien éste interpreta la señal de PWM (Modulador de ancho de pulso) de control para girar en distintos sentidos y detenerse de ser necesario. Se debe destacar que se utilizó este tipo de micro-motor con el único fin de reducir el cableado y evitar agregar más componentes a la arquitectura tecnológica del asistente robótico.

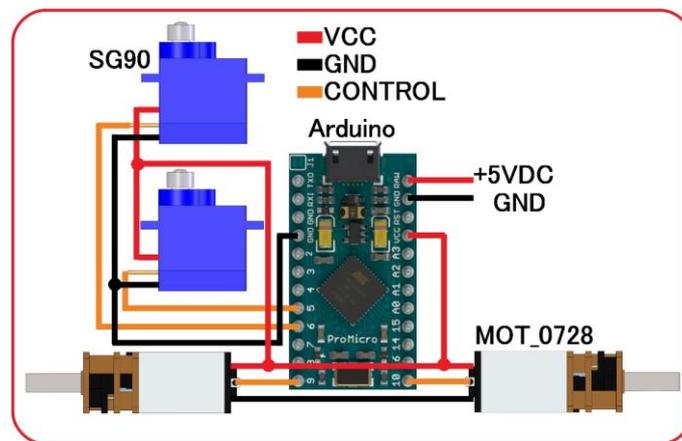


Figura 20 Esquema de conexión para los motores con el Arduino  
Fuente: Autor

## 2.2.6. SISTEMA DE AUDIO DEL ASISTENTE ROBÓTICO

El asistente robótico interactuará con el usuario por medio de estímulos auditivos para solicitarle respuestas y notificarle si estas son correctas o incorrectas, por lo tanto, el sistema de audio que posee el dispositivo debe ser lo más claro posible. Para cumplir este objetivo, se plantea el siguiente escenario: el módulo central Raspberry posee un conector de salida de audio que estará disponible para el usuario y con ello, éste tiene la opción de conectarlo directamente a un parlante de 8Ω/2W con su respectivo amplificador de audio PAM8403 que está integrado en el mismo asistente robótico. Igualmente, de requerirse un volumen más alto, el usuario tiene la posibilidad de conectarlo a un sistema de audio con mayor potencia, como serían parlantes de computadora o si se quiere realizar una cesión de trabajo más discreta se puede utilizar audífonos personales. El esquema utilizado se detallado en la Figura 21.

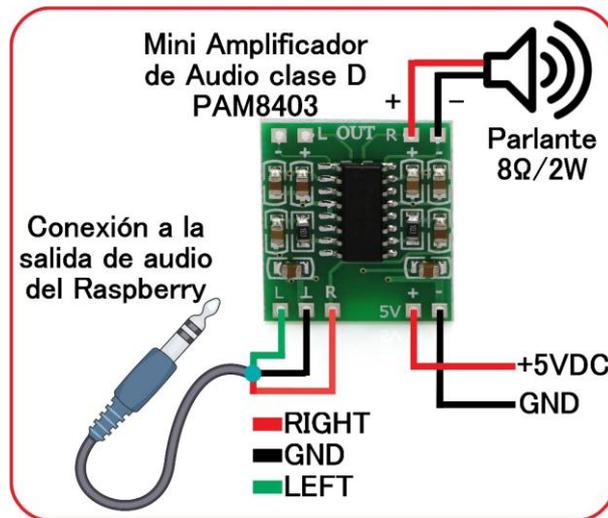


Figura 21 Esquema de conexión para el amplificador de audio  
Fuente: Autor

### 2.3 MECANISMO PARA LA INTRODUCCIÓN DEL CÓDIGO BRAILLE

El mecanismo para introducir el código Braille debe cumplir dos aspectos importantes:

- Permitir al usuario digitar todos los códigos Braille de cada una de las letras del abecedario, signos de puntuación, vocales con tilde, etc.
- Que el asistente robótico pueda reconocer estos códigos, y en base a ello el dispositivo central pueda verificar la respuesta del usuario.

Con los dos aspectos mencionados se propone el siguiente escenario que se describe en la Figura 22.

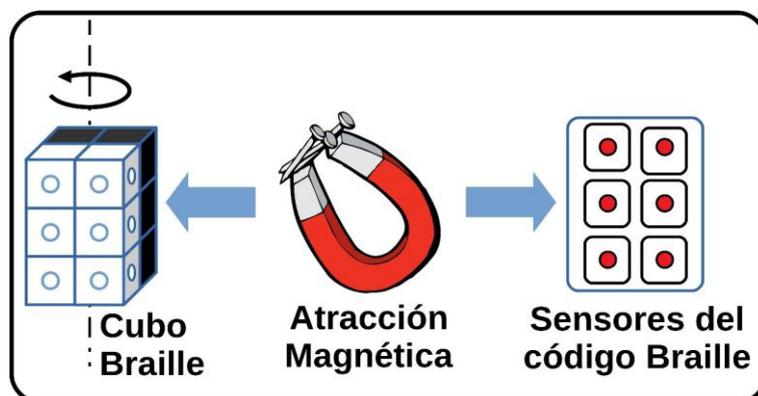
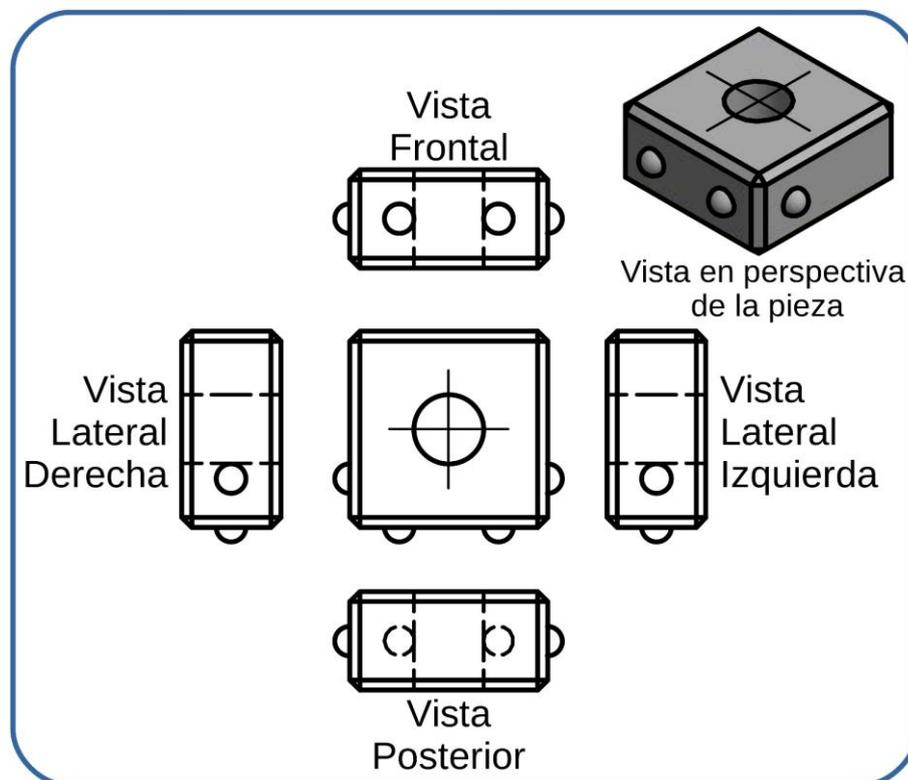


Figura 22 Propuesta del mecanismo para la detección de caracteres Braille  
Fuente: Autor

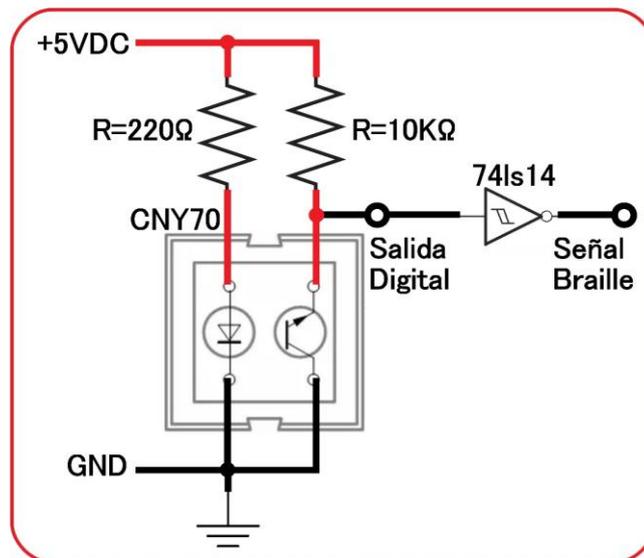
Como primer elemento tenemos el cubo Braille, que se basa en el tradicional juego del cubo de Rubik. En base a ello, se propone el desarrollo de un cubo simple, con un solo eje de rotación y tres piezas que giran alrededor de él, en cada pieza se encuentra parte del código generador Braille. En la vista frontal de la pieza del cubo están ubicados dos puntos en posición horizontal separados por una pequeña distancia del centro de la cara, en la vista lateral derecha solo encontraremos un punto ubicado en la posición izquierda del cubo vista desde el centro de la cara de ese lado, mientras que en la vista lateral izquierda tiene el punto en el lado derecho con respecto al centro de la cara de ese lado. Por último, en la vista posterior no posee ningún punto, dejando lisa esta superficie, con ello se tiene tres piezas con las mismas características y se apilan una encima de la otra sujetadas por un eje de rotación dándoles libertad de giro, de esta manera se puede generar cada uno de los códigos de los caracteres del sistema de lectura y escritura Braille. Se observa en la Figura 23 un dibujo en perspectiva y las vistas de una de las piezas.



**Figura 23** Prototipo de una pieza del cubo Braille  
Fuente: Autor

Una vez planteado el cubo, se necesita un método para poder reconocer los distintos caracteres del código Braille, por lo tanto, se estableció que el cubo tendrá un aspecto monocromático, es decir, las partes que poseen puntos tendrán un área de color blanco, mientras que las partes lisas un color negro. Para ello, se requiere la implementación de una circuitería electrónica con sensores para detección de colores, en este caso el blanco y negro. El componente más común para realizar este tipo de trabajo son los sensores ópticos reflexivos CNY70, que poseen un diodo led emisor de luz infrarroja que está ubicado en la misma dirección que el receptor. Dicho sensor permite detectar a una distancia máxima de 10 mm la reflexión infrarroja del objeto, recibiendo una longitud de onda diferente en función del color del objeto. Por lo tanto, con la configuración que se realice en el receptor, éste podrá identificar cualquier color, pero en nuestro caso solo necesitamos identificar los dos colores antes mencionados, esta configuración se la conoce como configuración digital del sensor CNY70.

Para la implementación de los sensores CNY70 en configuración digital se siguió el diagrama descrito en la Figura 24, donde se aprecian los valores de resistencias requeridos para el diodo emisor de luz infrarroja o fotodiodo, así como los valores para el fototransistor que viene integrado en el dispositivo. Este fototransistor devolverá un valor lógico de cero cuando entre en contacto con un objeto de color blanco, y un valor de uno cuando sea de color negro. Además de esto y para asegurar el valor lógico de cada uno de los puntos y evitar que se integren valores de tensión con ruido que puede falsear el nivel lógico de la salida digital, se adiciona una compuerta lógica tipo schmitt trigger 74ls14. Este pequeño inversor cambiará los valores lógicos de los colores, es decir, el blanco será uno lógico y el negro será un cero lógico, esto no representa mayor problema ya que en la programación se puede identificar este cambio y adecuarlo a nuestras necesidades. Además, realizar esta modificación nos asegurará que el dato sea siempre correcto y el asistente robótico podrá saber qué código de carácter Braille ingresó el usuario. Por lo tanto, se requiere de seis sensores uno para cada punto del código generador Braille.



**Figura 24** Esquema de conexión para los sensores CNY70  
Fuente: Autor

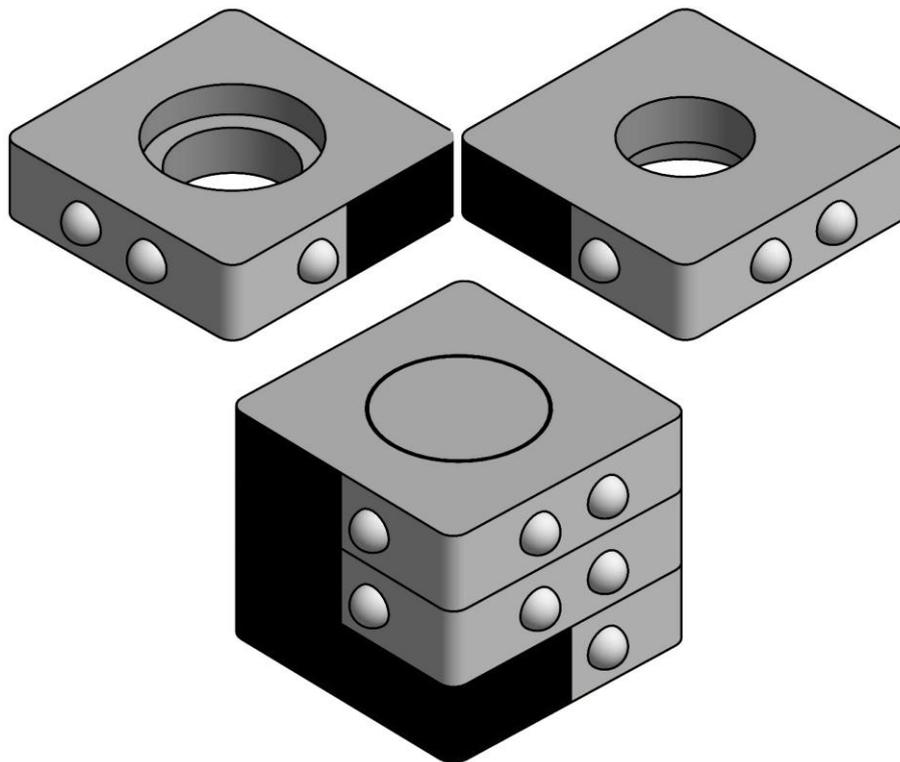
Finalizando con el desarrollo del mecanismo, queda por último plantear el método de sujeción del cubo Braille con el módulo de sensores. La solución se diseñó a través de la implementación de un sistema de atracción por imanes, tanto en el cubo Braille como en la parte central de la circuitería de los sensores. Con ello, se acoplan imanes de neodimio en el interior del cubo, para que el usuario pueda manipularlo y cuando quiera verificar su respuesta acerque el cubo hacia los sensores. En tal virtud, por la atracción de polos opuestos el cubo quedará acoplado, permitiendo que los sensores reconozcan que código ingresado por la persona. Con ello, el sistema podrá validar dicho código con la ayuda del dispositivo central.

## 2.4 DISEÑO Y ELABORACIÓN DEL CUBO BRAILLE

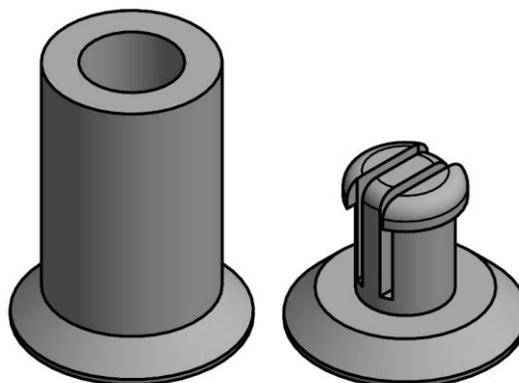
El diseño del cubo Braille se lo realizó en el Software Autodesk Inventor 2017 de diseño y simulación de productos, ya que en esta herramienta podremos visualizar y ensamblar el cubo, verificar su funcionamiento y después proceder a su elaboración con la ayuda de una impresora 3D.

Primero procedemos a diseñar una de las piezas, tomando como referencia a la Figura 23, se diseña la disposición del código generador Braille tomando en cuenta un tamaño adecuado para cada uno de los seis puntos. Además, se dejó una separación de 10 mm entre cada punto para una mejor manipulación del cubo en el

proceso de aprendizaje. Continuando con el diseño, solo dos de las piezas serán idénticas, la que va ubicada en el centro del cubo tendrá una característica que le permitirá integrar imanes de neodimio en su interior, esto siguiendo el escenario planteado en la sección 2.3. En cuanto a los ejes que permitirán rotar a cada pieza, serán diseñados de tal manera que se puedan acoplar entre los dos, evitando así que el cubo no se desarme. En la Figura 25 y Figura 26 observamos cada uno de los diseños realizados en Inventor.

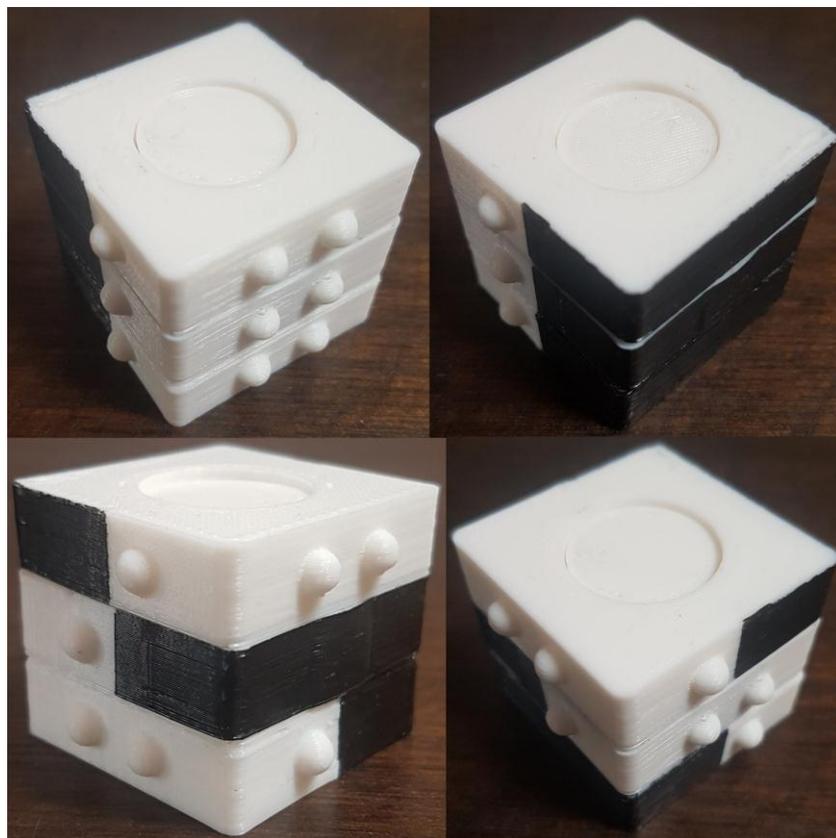


**Figura 25** Diseño de las piezas del Cubo Braille realizado en Inventor  
Fuente: *Autor*



**Figura 26** Diseño del eje de rotación del cubo Braille realizado en Inventor  
Fuente: *Autor*

Con el diseño elaborado, procedemos a construir el cubo en una impresora 3D, el material utilizado para la impresión es PLA blanco, que es el color que los sensores detectarán cuando entren en contacto con el fototransistor. La parte que no posee puntos puede ser pintada de negro con cualquier tipo de pintura esta puede ser de tipo acrílica, aerosol, esmalte etc., sin embargo, debe asegurarse es que no se remueva fácilmente del PLA, a fin de no afectar al funcionamiento del sistema. En la Figura 27 se muestra el cubo completamente terminado con los imanes acoplados, y listo para su utilización.



**Figura 27 Cubo Braille implementado**  
**Fuente:** *Autor*

## 2.5 DISEÑO DE LA PLACA ELECTRÓNICA PCB PARA LOS SENSORES

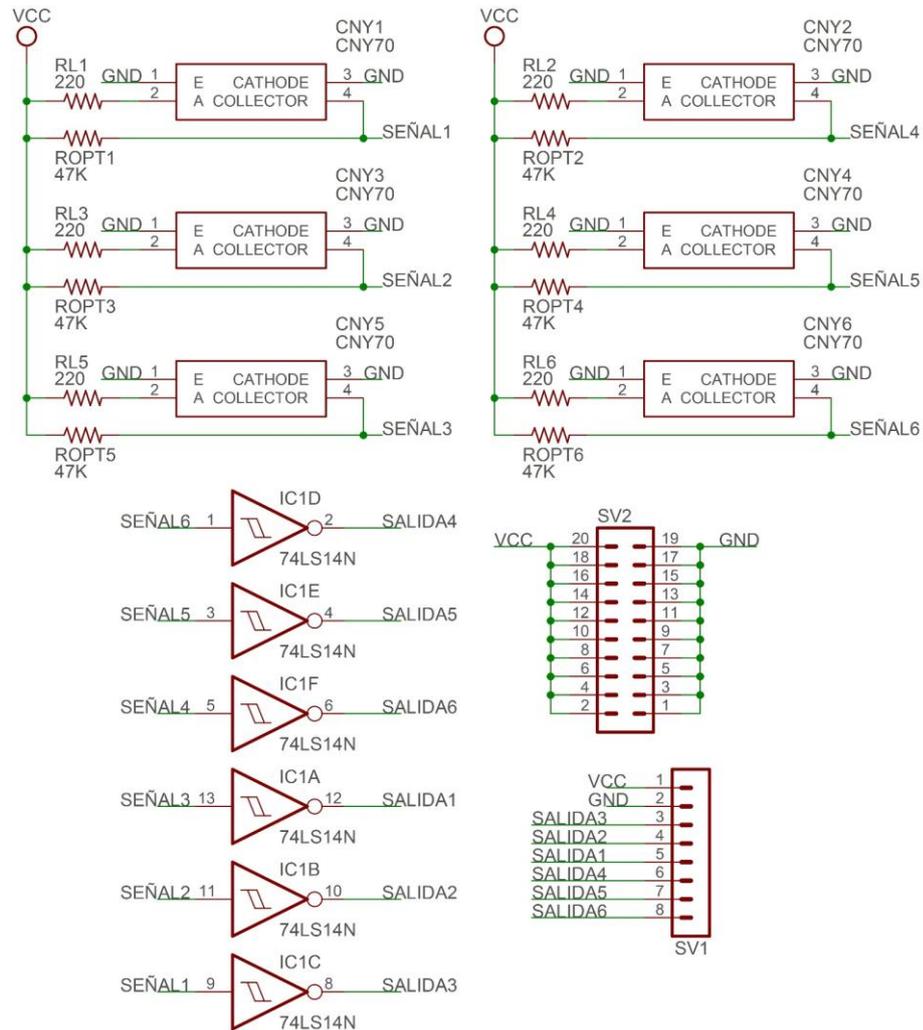
En la Figura 24 se presenta la conexión del sensor CNY70 para recibir una señal lógica que se activa con los colores blanco y negro. Para ello, necesitamos seis sensores con la misma configuración que estén ubicados a una determinada distancia. Tomando en cuenta el diseño del cubo que se indica en la sección 2.4, se debe desarrollar una placa electrónica con todos los componentes necesarios para el funcionamiento de los seis sensores en una misma tarjeta PCB, para ello utilizamos el software para diseño de esquemáticos y de tarjetas electrónicas PCB Autodesk EAGLE. Este programa se adapta a nuestra necesidad ya que posee una variedad de librerías que son de utilidad para el diseño de esta tarjeta en específico.

La necesidad de realizar una tarjeta electrónica surge de la experimentación individual en el armado previo de los sensores, este requería de varios cables de conexión por cada sensor CNY70, provocando que el espacio ocupado por estos seis componentes sea excesivo y, por lo tanto, requería un proceso de ensamblaje más complejo de realizar. Por otra parte, de existir una avería en uno de los sensores, sería más complicado encontrar donde está el problema.

Por lo tanto, en la Figura 28 se puede observar el diseño esquemático de nuestro circuito que será implementado como tarjeta PCB, se puede apreciar los seis sensores y cómo cada uno ingresa a una entrada de la compuesta lógica 74ls14. Además de esto, se integraron peinetas de alimentación, y peinetas para obtener las salidas de cada uno de los sensores.

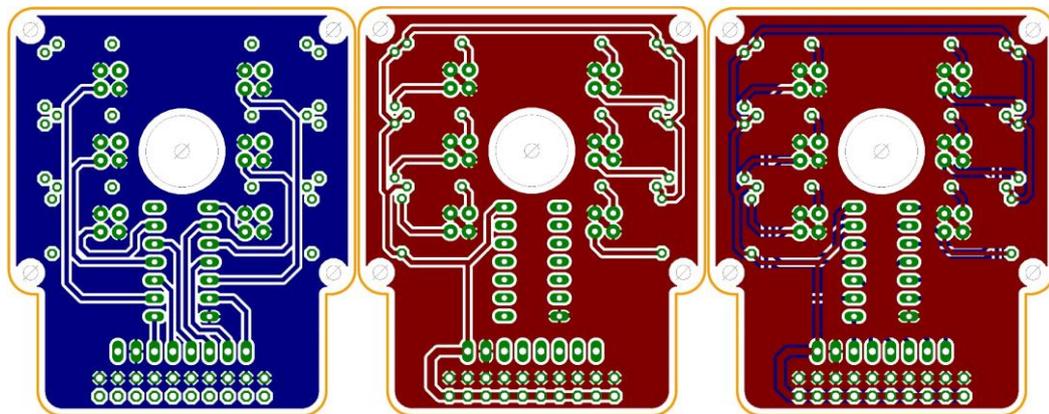
Una vez que nos aseguramos de que cada conexión en el esquemático esté correctamente realizada, procedemos a generar el PCB, adecuando cada uno de los componentes al espacio que tiene asignado para el uso del cubo Braille. En el programa debemos realizar una serie de configuraciones como poner la unidad de medida métrica decimal para el diseño de toda la tarjeta, ya que por defecto viene en pulgadas, es decir, el sistema americano. Además, se determina el espesor máximo de las pistas y el diámetro de los agujeros conocidos en el programa como *pads*, de esta manera se asegura un diseño ordenado y se puede realizar el trazado de las pistas de una forma más sencilla. Al finalizar este paso se agrega el plano de referencia a

tierra y el corte de la placa como tal, permitiendo visualizar el diseño final de la misma que se puede observar en la Figura 29.



**Figura 28** Diseño Esquemático del circuito realizado en EAGLE

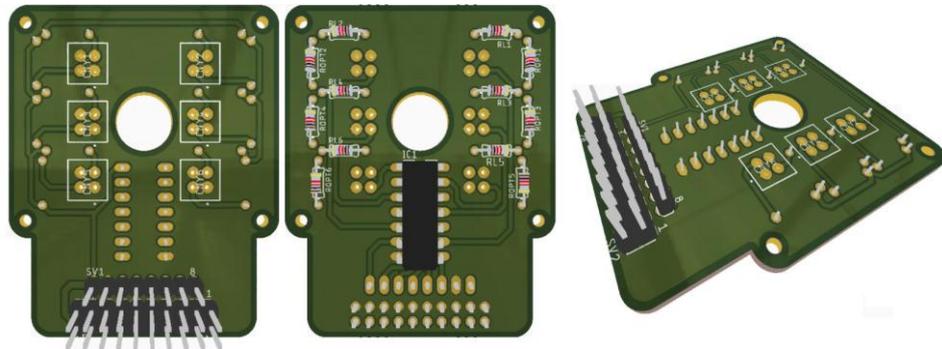
Fuente: Autor



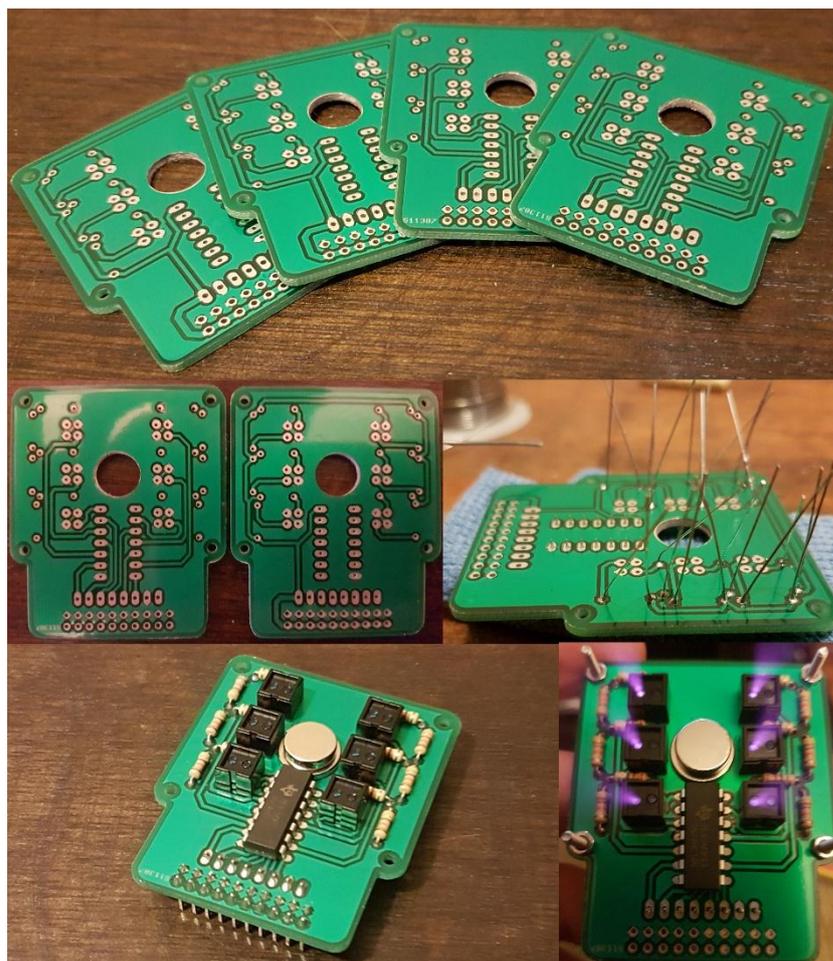
**Figura 29** Vista de la capa superior e inferior del diseño PCB

Fuente: Autor

Antes de realizar el proceso de fabricación es factible generar un modelo 3D, y visualizar el PCB, así podremos tener una idea más clara de cómo quedara nuestra tarjeta electrónica al final.



**Figura 30 Simulación en 3D del diseño PCB de la placa electrónica**  
Fuente: *Autor*



**Figura 31 Tarjeta PCB fabricada, soldada y probada**  
Fuente: *Autor*

Con la simulación que se indica en la Figura 30 se puede estar seguro de realizar el proceso de fabricación de la tarjeta PCB y con una máquina CNC se realiza el corte de las pistas y el perforado de los agujeros tanto para los componentes como para los tornillos de sujeción. También se agrega estaño al material conductor y la máscara anti-solder para protección del cobre de las pistas del circuito y el plano de tierra, tratando de prevenir algún corto circuito por la intervención de algún cable. Posteriormente realizamos el soldado de los componentes y llevamos a cabo las pruebas para verificar su funcionamiento. En la Figura 31 se muestra la placa ya fabricada, soldada y los fotodiodos funcionando.

## 2.6 DISEÑO DE LAS PARTES DEL ASISTENTE ROBÓTICO

Con la arquitectura tecnológica del sistema que se indica en la Figura 11, y una vez realizado todos los diseños electrónicos de los componentes que el asistente robótico va a usar, se procede con el desarrollo del diseño de las partes que componen al robot. Para ello, hemos utilizado el programa Inventor y se propone un dispositivo compacto, lo más pequeño posible, para que pueda ser de fácil manipulación y transporte. Asimismo, se pretende desarrollar un diseño amigable que se adecue al trabajo con niños de 6 a 8 años de edad.

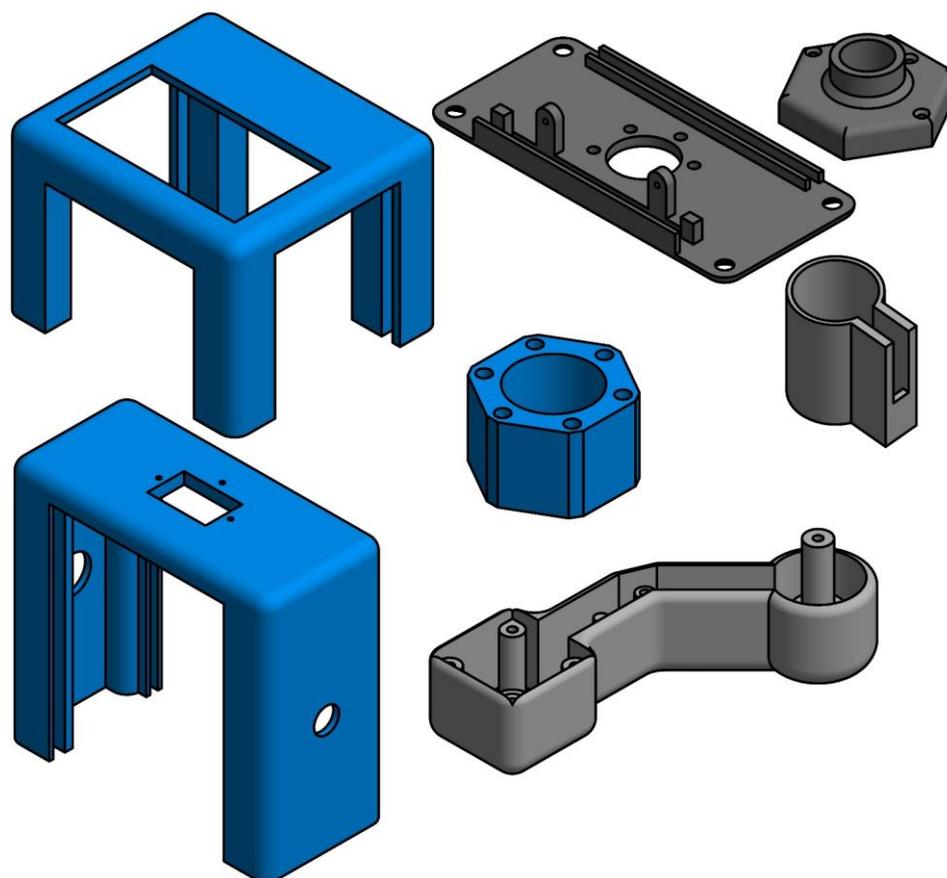
En la Tabla 1, se describe cada uno de los componentes que utilizará el robot, esto es de mucha ayuda, ya que al momento de realizar el diseño se debe acoplar cada dispositivo en un espacio determinado.

**Tabla 1 Lista de componentes utilizados en el Robot**

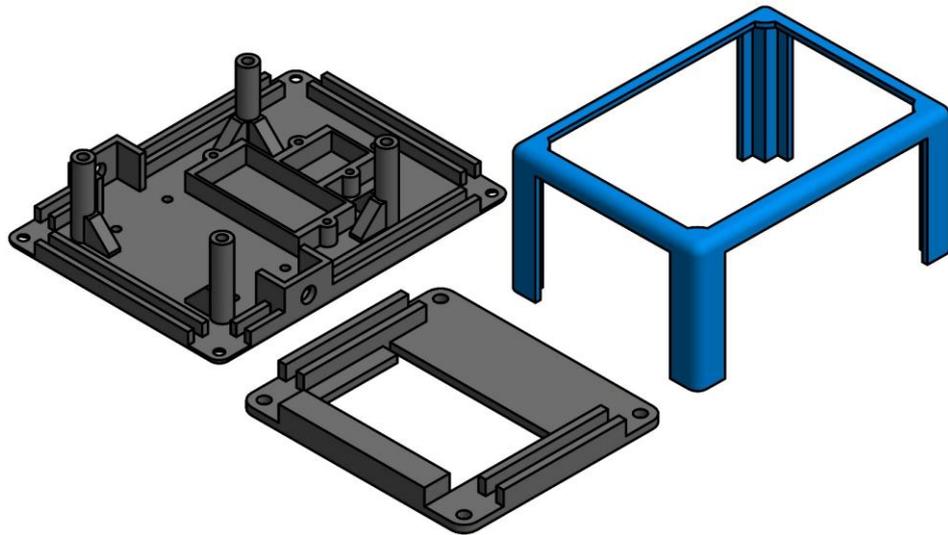
COMPONENTE	CANTIDAD
Raspberry Pi 2	1
Arduino PRO micro	1
Micro-Motores MOT_0728	2
Brackets de sujeción para Micro-Motores	2
Servomotores SG90	2
Regulador de Voltaje Step-Down 5V/1A D24V10F5	1
Amplificador de audio clase D PAM8403	1
Parlante 8Ω/2W	1
Encoder de Rotación	1
Jack de Audio	1
Tarjeta RFID RC522	1
Switch ON/OFF	1
Led RGB	2
Tarjeta electrónica Sensores	1

Imán de Neodimio 10mm de diámetro	3
Sócalo para Baterías GTL LS 16340	2
Baterías GTL LS 16340 3.7V 2300mAh	2
Pulsantes NA	2
Rueda giratoria	1
Llnatas para Micro-Motores Pololu	2

Cada componente cumple una función primordial en el robot, por lo tanto, debe ser acoplado con seguridad y sujeto con firmeza a las partes diseñadas en inventor. Este objetivo se puede conseguir atornillando cada componente a un espacio determinado, por ello se requiere de una impresión de gran calidad, ya que se tienen agujeros de diámetro pequeño donde se ubicarán los tornillos de sujeción. A continuación, se muestra la Figura 32 y Figura 33 que constituye las partes del asistente diseñadas en Inventor.

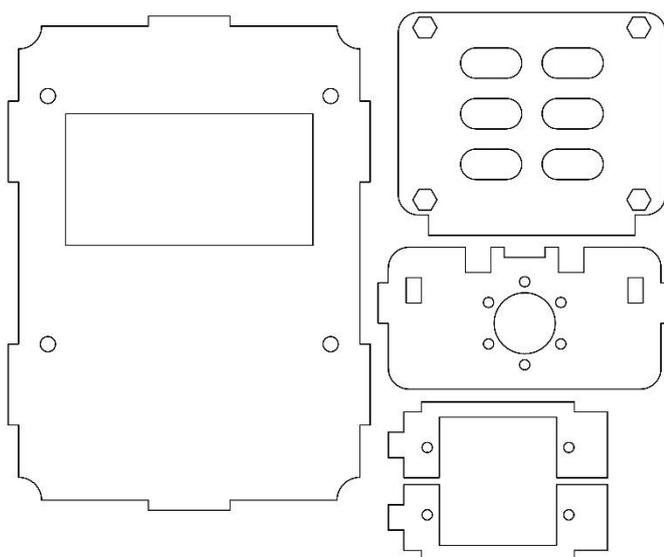


**Figura 32** Piezas de la parte superior del robot diseñadas en Inventor  
Fuente: *Autor*

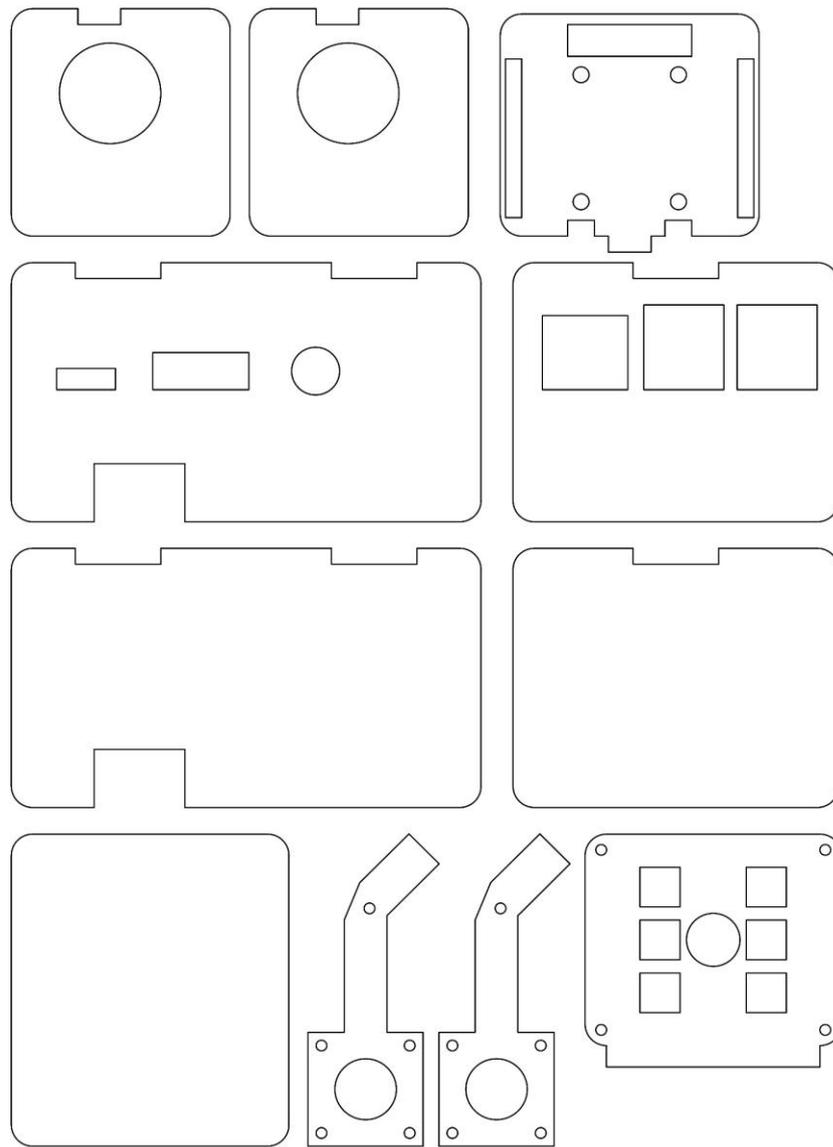


**Figura 33** Piezas de la parte inferior del robot diseñadas en Inventor  
 Fuente: Autor

Complementando el diseño y para evitar el uso excesivo de material PLA, que consume mucho tiempo de impresión e implica un mayor precio de material, se desarrollaron piezas en acrílico para los lados frontales y laterales del robot, el costo de este material en cantidades pequeñas es bajo y su tiempo de fabricación es mínimo (ya que solo requiere cortes con un láser de potencia), permitiendo desarrollar más unidades del asistente robótico en menos tiempo. En la Figura 34 y Figura 35 se puede observar los diseños de las partes de acrílico con su respectivo espesor.



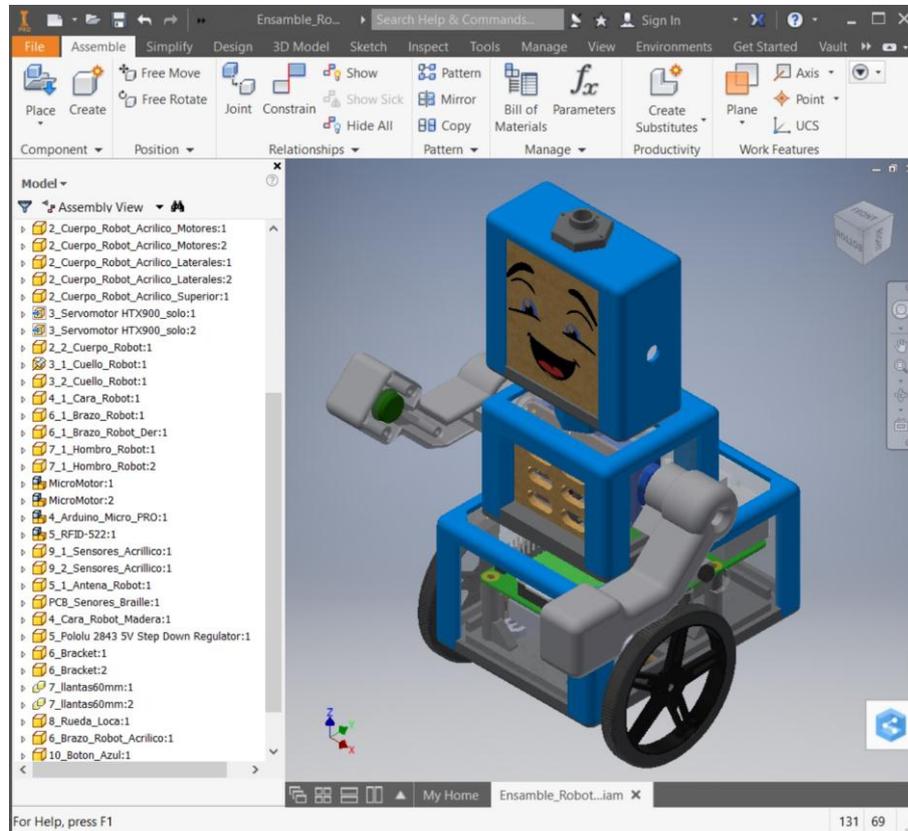
**Figura 34** Piezas de acrílico con un espesor de 3mm  
 Fuente: Autor



**Figura 35** Piezas de acrílico con un espesor de 2mm  
Fuente: *Autor*

Inventor permite ensamblar todas las piezas del robot para poder observar cómo quedaría el producto final, ofreciendo la posibilidad de determinar su centro de gravedad y su resistencia, todo esto dependiendo del tipo material de las piezas. También se puede conseguir la mayoría de los periféricos dibujados en este software como Raspberry y Arduino e integrarlo al diseño, verificando su ubicación y la sujeción en el asistente robótico. Por otra parte, algunas partes como los brazos o las llantas del robot pueden ser simulados con movimientos para ver su grado de libertad y poder considerar restricciones al momento de la programación de estos componentes. Además, se puede configurar los colores de cada una de las piezas en

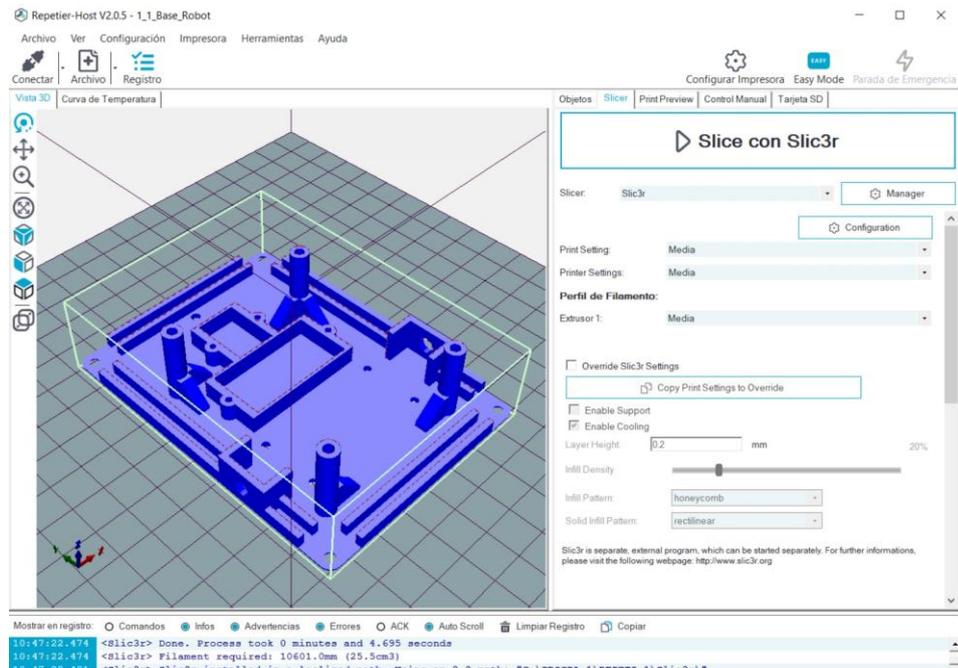
este caso para el material PLA se utilizó colores azul y gris, y se puede ir variando cada aspecto físico con el fin de conseguir un resultado que mejor se adapte a las necesidades de los usuarios finales. En la Figura 36 se observa al asistente robótico en el software Inventor.



**Figura 36** Ensamblado del Robot en el entorno grafico de Inventor  
**Fuente:** Autor

## 2.7 CONSTRUCCIÓN Y ARMADO DEL ASISTENTE ROBÓTICO

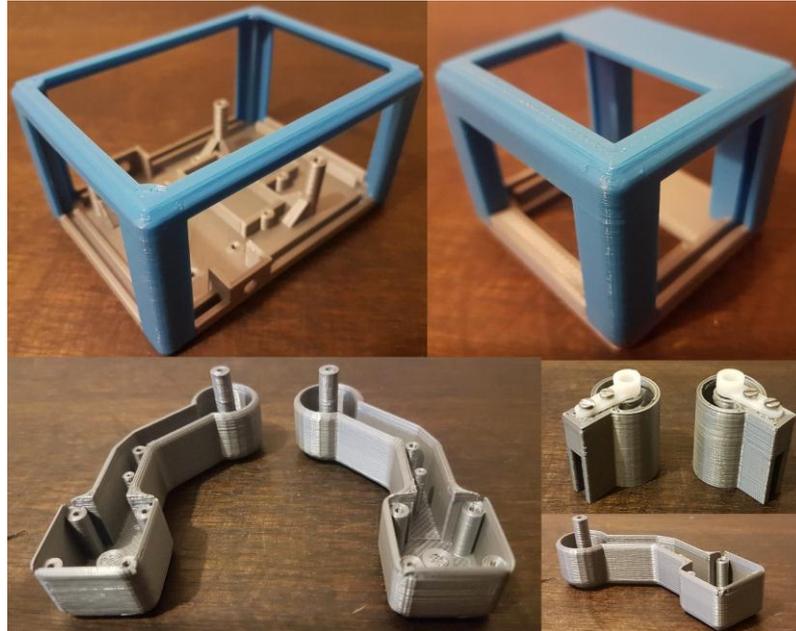
Con los diseños realizados en la sección 2.6 procedemos a realizar la impresión de las partes del robot, para ello se empleó la impresora PRUSA i3 MK3 con el filamento de impresión PLA, usando los colores azul y gris, de antemano se necesita generar los ficheros de las piezas 3D en formato GCODE. Esto se realiza a través del programa Repetier Host que permite configurar los parámetros más importantes para la impresora como son: la calidad de impresión, la escala de la pieza, etc. La Figura 37 muestra el entorno del programa y sus parámetros de impresión.



**Figura 37 Entorno grafico del programa Repetier Host para impresión 3D**  
Fuente: Autor



**Figura 38 Impresión de las partes del Robot en la impresora Prusa**  
Fuente: Autor

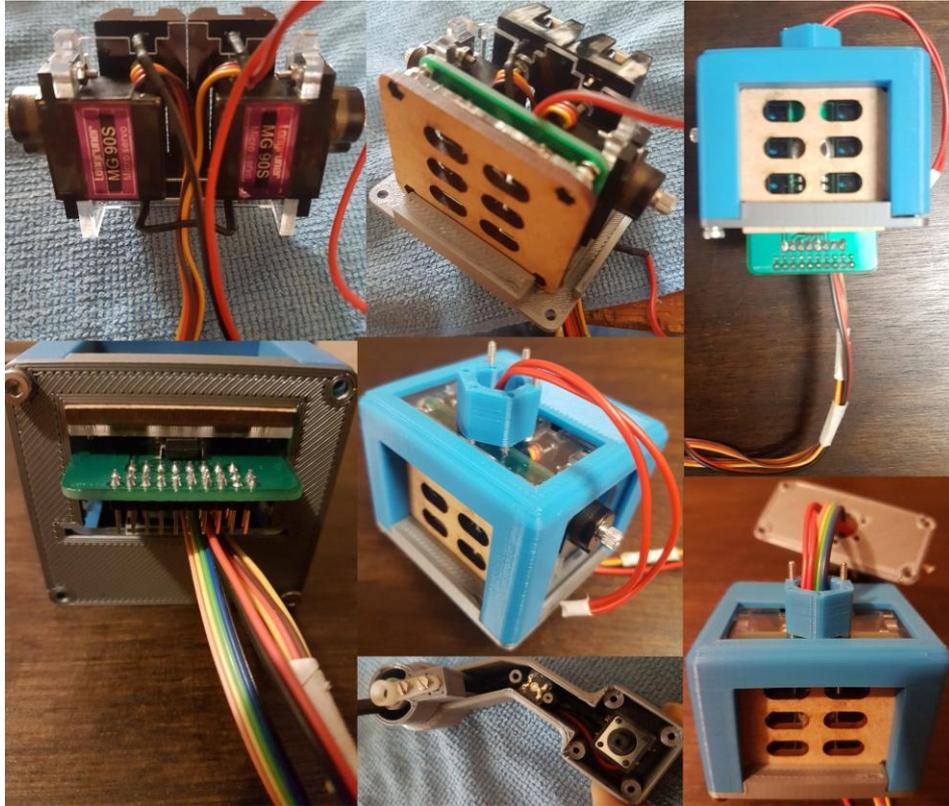


**Figura 39 Partes del robot terminadas de imprimir**  
**Fuente: Autor**

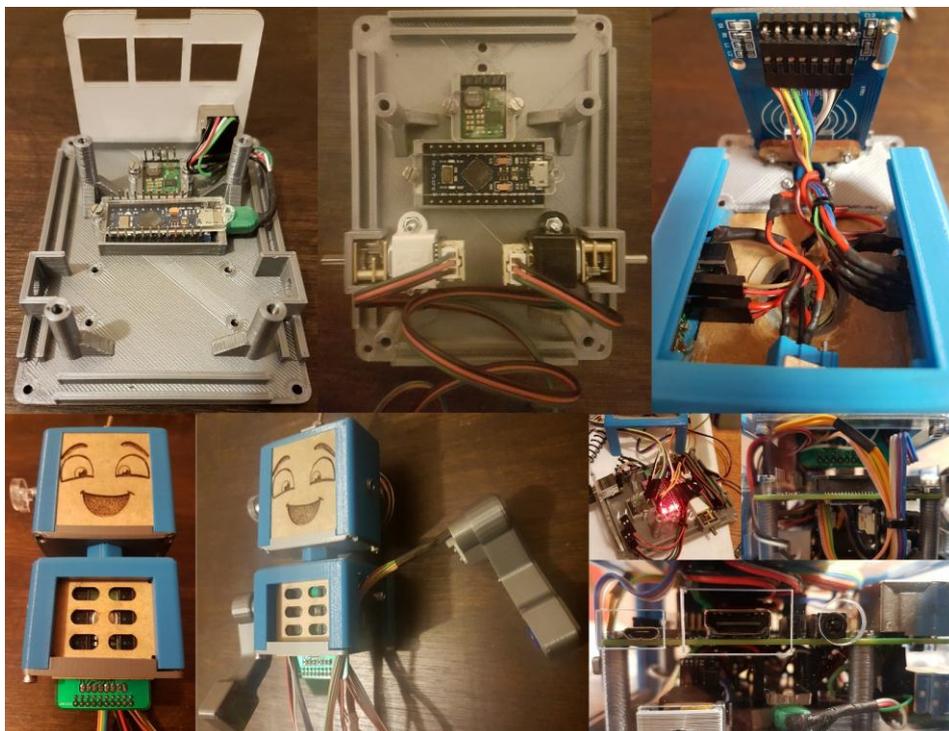
En las Figura 38 y Figura 39 se muestra el proceso de impresión y el terminado de las piezas para el armado del asistente robótico. Con las partes listas para el montaje, se procede con el ensamblaje de los componentes y su posterior cableado, se debe tener en consideración el espacio que tiene el robot entre componentes, para ello se utilizó un cable numero 30 AWG. Además de esto y con el fin de dar un mantenimiento correctivo al asistente robótico en un futuro, se implementó buses de datos con pestañas conectoras dependiendo del número de pines que posee cada componente. En la Figura 41 y Figura 42, se muestra el proceso de cableado y armado de todo el Robot.



**Figura 40 Piezas de acrílico cortadas a laser**  
**Fuente: Autor**

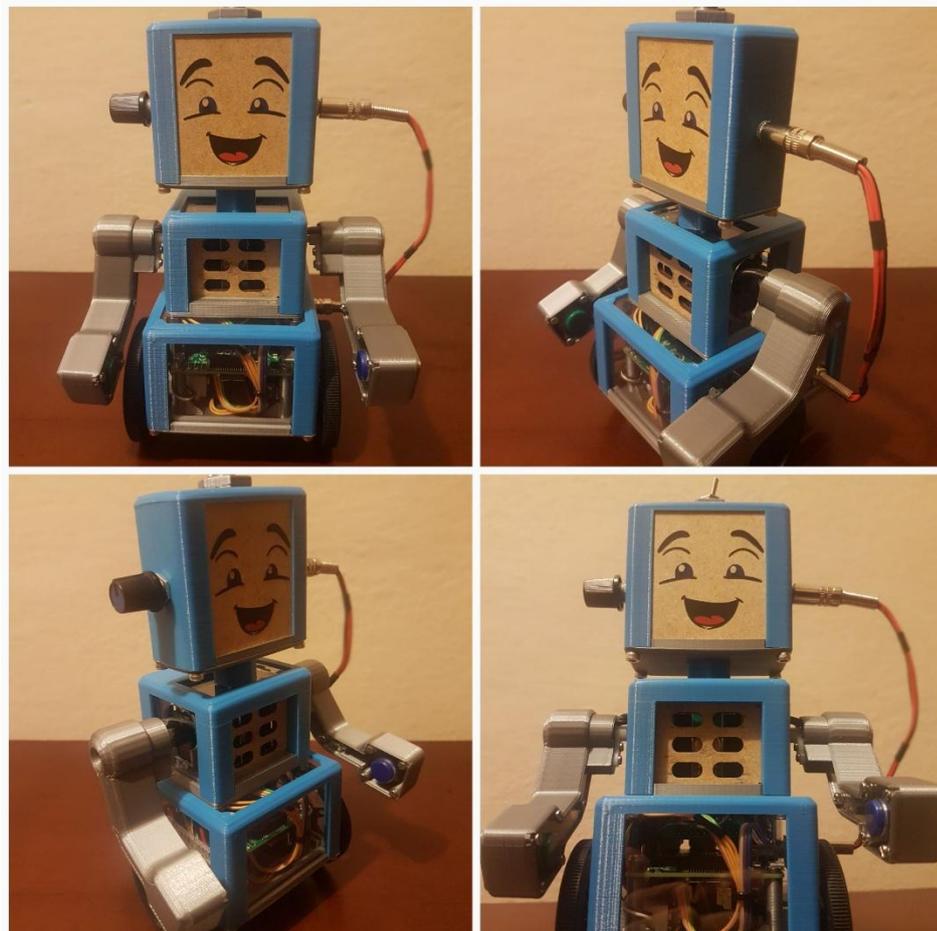


**Figura 41** Cableado y armado de los componentes del robot  
 Fuente: *Autor*



**Figura 42** Cableado de los componentes y ensamblado  
 Fuente: *Autor*

Con el armado y cableado de cada uno de los componentes y las piezas de acrílico cortadas en una máquina láser, se puede tener el robot totalmente armado para probar su funcionamiento como se puede apreciar en la Figura 43. Se verifica los aspectos más importantes como su estabilidad, el giro libre de cada uno de los motores, el correcto funcionamiento de los pulsantes y el encoder de rotación. De igual forma, se puede ir verificando el funcionamiento de cada uno de los componentes como los sensores, tarjeta RFID y el amplificador de audio, ya que de no encontrarse funcionando alguno de ellos se puede corregir antes de colocar los tornillos de sujeción para dejarlo completamente cerrado. Al finalizar todo este proceso de verificación se tendrá el robot listo para realizar la programación correspondiente.



**Figura 43 Robot ensamblado completamente**  
**Fuente: Autor**

# CAPÍTULO 3: IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

## 3.1 DISEÑO Y DESARROLLO DE ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE EN BRAILLE

La tarea principal de este robot es agilizar el aprendizaje de los caracteres de código Braille ya sean letras, signos de puntuación, caracteres especiales, etc. Para ello se implementan tres módulos de aprendizaje como se indica a continuación en la Figura 44.

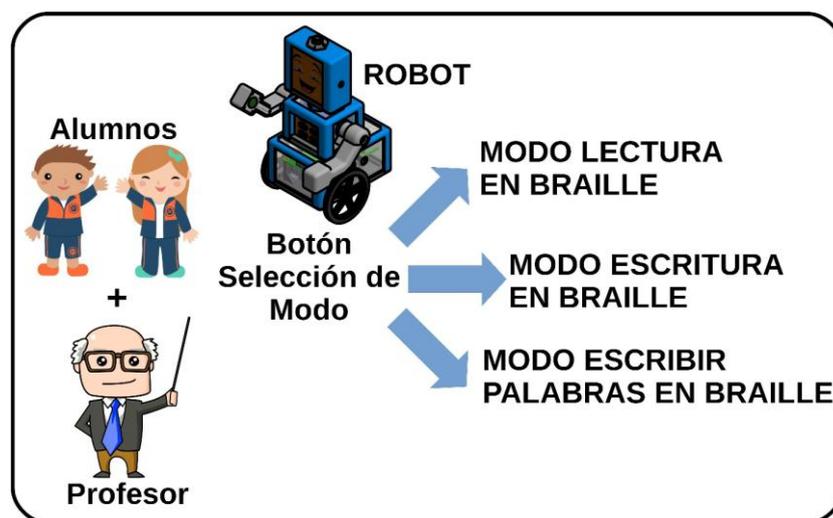


Figura 44 Actividades propuestas para el asistente Robótico  
Fuente: Autor

### **3.1.1. MODO LECTURA EN BRAILLE**

Este modo permite al Usuario realizar el aprendizaje de cómo se debe leer los caracteres en código Braille, mediante el sintetizador de voz el robot le pregunta a la persona “¿Cómo se debe leer la letra A?”, ante lo cual el usuario debe responder mediante el cubo el carácter solicitado, a partir de ahí verificará su respuesta pulsando el botón de verificación (en el Robot es el botón azul), dependiendo de si la respuesta es correcta, el robot le indicará “Correcto” y continuará con la siguiente carácter que se le presente, caso contrario le dirá “Incorrecto, inténtalo de nuevo” repitiendo otra vez la solicitud del carácter equivocado.

### **3.1.2. MODO ESCRITURA EN BRAILLE**

Este modo es similar al de lectura en Braille, el Usuario debe realizar las mismas acciones, pero en este caso la codificación en el cubo cambia de sentido de orientación, esto obviamente será guiado por el docente que se encuentre trabajando con la persona.

### **3.1.3. MODO ESCRIBIR PALABRAS EN BRAILLE**

Este modo le permite al usuario escribir palabras o incluso oraciones para que después el robot mediante el sintetizador de voz lea dicho contenido de texto. Una vez más ayudándose del cubo, la persona puede escribir letra por letra alguna palabra u oración, por ejemplo, si el usuario desea escribir HOLA deberá realizar el proceso que se indica a continuación. En el cubo digita el carácter de escritura de la letra H y se lo ubica al robot, ayudándose del botón de validación (en el Robot es el botón verde) guarda la letra H y el robot le notificará “Escribiste H”, luego continua con el mismo proceso para las demás letras. Una vez que se ha terminado de escribir la palabra, se puede solicitar que el asistente robótico lea lo que la persona escribió, para ello utiliza el botón de verificación (en el Robot es el botón azul) este le responderá con la lectura de la palabra “HOLA”.

De esta manera el usuario podrá interactuar cuantas veces desee con esta modalidad, no se tiene límite de caracteres para formar alguna frase u oración, se puede utilizar los que sean necesarios. Cabe mencionar que para este modo el usuario debe digitar únicamente los caracteres de escritura que se aprende en el modo escritura en Braille, los caracteres de lectura no servirán en este proceso. Con esto el

usuario podrá realizar varios procesos de entrenamiento para poder memorizar los caracteres.

### **3.2 SELECCIÓN DEL LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN ADECUADO**

El Raspberry PI es un dispositivo embebido de bajo coste, por lo tanto, posee limitaciones en cuanto a capacidad de cómputo, por ello se debe seleccionar un lenguaje de programación adecuado en cuanto a ejecución de código y optimización del procesador. Para el caso del asistente robótico se escogió C++, este lenguaje posee varias características interesantes como la utilización de punteros que permiten optimizar memoria de programa en el proceso de ejecución, o la posibilidad de implementar hilos de funciones que permiten realizar tareas en paralelo, es decir, ejecutar dos acciones al mismo tiempo sin necesidad de interrumpir a la otra.

#### **3.2.1. SINTETIZADOR DE VOZ**

La voz es uno de los aspectos más relevantes de robot, ya que con ella el mismo puede hacer los requerimientos de respuesta y notificar al usuario si ha cometido algún error. Para ello se opta por la elección del sintetizador de voz Festival Text to Speech, en esta librería gratuita se puede configurar el idioma, el género de la voz, los caracteres especiales como la ñ o las vocales con tilde, para que el programador pueda ejecutar cualquier frase que se desea transmitir. Por otra parte, este sintetizador encaja perfectamente con el lenguaje de programación C++, ya que existen comandos con los que se lo puede ejecutar directamente desde la terminal.

#### **3.2.2. WIRINGPI**

Esta librería de descarga y uso libre, permite desde el lenguaje C++ leer los estados del puerto GPIO del Raspberry, para este caso es de primordial uso ya que los sensores para la lectura del cubo Braille van conectados directamente hacia los pines del dispositivo central, tal y como se indica en la Figura 12. Además de leer los estados, me permite realizar comunicación con el puerto serial RS232, utilizando esto para enviarle órdenes a la tarjeta electrónica Arduino para ejecutar movimientos en base a las repuestas que dio el usuario. Esta herramienta es de bajo procesamiento y puede ejecutar sus funciones en paralelo a las actividades del sintetizador de voz, permitiendo que el uso del robot sea eficaz.

### 3.3 INGRESO DE USUARIOS PARA CESIONES DE APRENDIZAJE

Debido a que el asistente robótico no cuenta con interfaz gráfica, ni el acceso a un teclado o pantalla táctil para poder ingresar datos personales de los usuarios, se propone reemplazar este tipo de acceso a través de una tarjeta lectora RFID. Esto será de gran utilidad, ya que con ello se puede conocer el progreso del paciente durante la ejecución de las sesiones de trabajo. Por lo tanto, mediante tarjetas personales compatibles con el modulo lector, el usuario solo necesitara acercar su tarjeta personal a la cara del asistente robótico, para que este lo reconozca y comience a realizar una sesión de trabajo generando reportes con las respuestas que se presenten en el transcurso del uso del robot, permitiendo al docente monitorear el proceso de aprendizaje del estudiante. La Figura 45 muestra el proceso de acceso al asistente robótico.

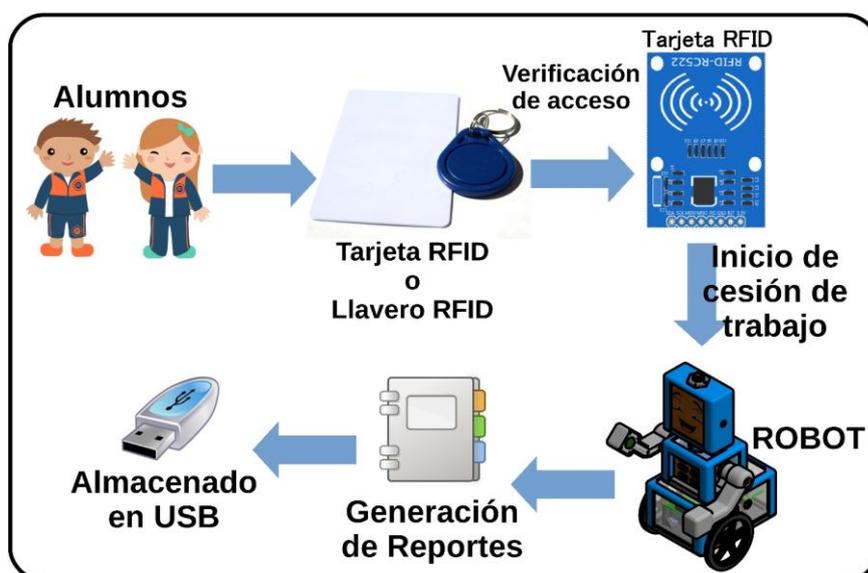


Figura 45 Proceso de inicio de sesión para los alumnos

Fuente: Autor

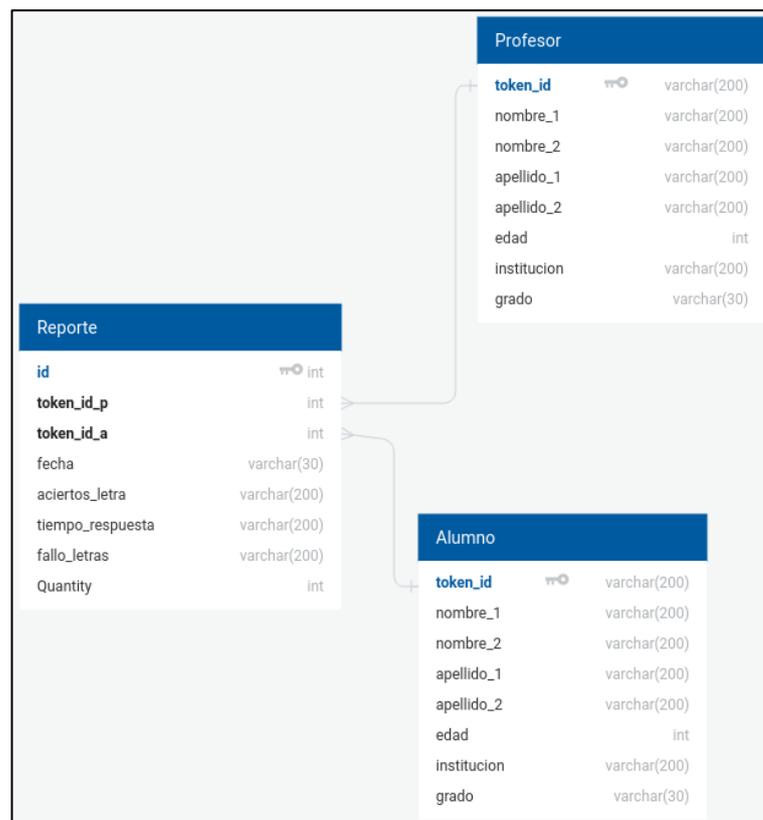
Los reportes se generan y se los almacena en una memoria flash conectada al dispositivo central. En este medio se crea una base de datos con cada una de las sesiones que tuvo el usuario, permitiéndole al docente enfocar las actividades en aquellas áreas donde el estudiante presente mayor dificultad.

El uso de acceso de usuario no es estrictamente obligatorio, ya que una persona que no posea una tarjeta puede realizar una sesión anónima de trabajo y

utilizar todas las funciones, permitiendo a cualquier persona utilizar el asistente robótico.

### 3.4 DISEÑO DE LA BASE DE DATOS

Para la base de datos se toma como parámetros la información más relevante de los alumnos de la educación educativa, una de las informaciones más relevantes es el código de la tarjeta RFID que corresponde a cada usuario, esta permite acceder a la base de datos de esa persona y comenzar a registrar las actividades que desarrolla durante la sección de trabajo. Para la implementación de esta base de datos se utilizó “*sqlite3*”, que es una librería que no ocupa muchos recursos del dispositivo, permitiendo que el funcionamiento del asistente robótico sea lo más óptimo posible, además permite la posibilidad de manipular los parámetros desde el mismo código de programación, permitiendo la posibilidad de registrar los aciertos y errores que posee el estudiante en su aprendizaje. En la Figura 46 se muestra el diseño de la base de datos.



**Figura 46 Base de datos Entidad-Relación del sistema**

Fuente: Autor

### 3.5 DISEÑO DE REPORTE

Los reportes para los docentes son una herramienta necesaria, en base a estos pueden monitorear el desenvolvimiento de los niños y detectar en que caracteres tiene problema de aprendizaje, por ello el asistente robótico genera un reporte de cada alumno al terminar la sección de trabajo, ya que el prototipo no posee una interfaz gráfica, los reportes generados se los almacenan en un dispositivo de almacenamiento USB, para que el docente pueda revisar el desempeño en cada una de las actividades en su computador, por otra parte, la mayoría de docentes de educación educativa poseen discapacidad visual, sin embargo esto no representa una gran problemática ya que en los reportes pueden ser interpretados por software de sintetizadores de voz acoplados al computador personal de cada docente, permitiéndole conocer el estado de aprendizaje del niño. En la Tabla 2 y Tabla 3 vemos el diseño de los reportes.

**Tabla 2 Reporte de datos perteneciente a los alumnos**

Field	Description	Type	Default	Other
token_id		varchar(200)		PK
nombre_1		varchar(200)		
nombre_2		varchar(200)		
apellido_1		varchar(200)		
apellido_2		varchar(200)		
edad		int		
institucion		varchar(200)		
grado		varchar(30)		

**Tabla 3 Reporte de datos perteneciente a los docentes**

Field	Description	Type	Default	Other
token_id		varchar(200)		PK
nombre_1		varchar(200)		
nombre_2		varchar(200)		
apellido_1		varchar(200)		
apellido_2		varchar(200)		
institucion		varchar(200)		

# **CAPÍTULO 4: VALIDACIÓN DEL PROYECTO Y RESULTADOS**

## **4.1 MODELOS DE ENCUESTA**

Dado que el asistente robótico está enfocado en el sector prioritario de personas con discapacidad visual, se plantearon dos modelos de encuesta para aplicarlos en los principales centros de educación especial y sociedades de personas no videntes de la provincia del Azuay. Principalmente se trabajó con niños y docentes de la “Unidad Educativa Claudio Neira Garzón”, y personas adultas pertenecientes a la Sociedad de No videntes del Azuay (SONVA). Se aplicó un modelo de encuesta diferente tanto para niños como para adultos, tratando de identificar ciertos aspectos de relevancia del asistente robótico como los siguientes: la claridad de la voz del sintetizado, el adecuado volumen de la voz del robot, el sonido que producen los motores, la utilidad de los módulos de aprendizaje, etc. La información que se obtuvo fue de gran utilidad para garantizar la utilidad del dispositivo.

Cabe mencionar que, al ser personas con discapacidad visual, se tuvo que hacer una encuesta asistida, es decir, se le hace apreciar el funcionamiento del Robot y cada una de las características que éste posee, al terminar la dinámica con la persona, se procede a la realización de las encuestas, en este caso se le hace la pregunta a la persona y se le indica las opciones de respuesta que puede proveer. Para evitar largas horas de trabajo se aplicó un método de trabajo grupal, realizando sesiones con hasta cuatro personas, lo que nos permitió desarrollar mayor número de encuestas en el menor tiempo posible. Los modelos de encuesta se muestran a continuación.

### ENCUESTA DEL ROBOT DE ASISTENCIA BRAILLE

Buen día, las siguientes preguntas forman parte de un estudio para el desarrollo de tecnologías para la inclusión educativa, sus respuestas no servirán de ayuda para conocer aspectos relevantes como su punto de vista sobre el prototipo y como usted aprecia el desenvolvimiento del dispositivo.

**¡Muchas gracias!**

ESCUELA: \_\_\_\_\_ EDAD: \_\_\_\_\_

TIPO DISCAPACIDAD: \_\_\_\_\_ %DISCAPACIDAD: \_\_\_\_\_ GENERO: MASCULINO  FEMENINO

**Marque con una X:**

**¿Qué opina sobre la voz del Robot?**

Totalmente Agradable	Muy Agradable	Agradable	Un Poco Desagradable	Totalmente Desagradable
_____	_____	_____	_____	_____

**Marque con una X:**

**¿Qué opina del volumen de la voz del Robot?**

Demasiado Alto	Muy Alto	Me parece Bien	Muy Bajo	Demasiado Bajo
_____	_____	_____	_____	_____

**Marque con una X:**

**¿Qué opina del sonido de los Motores del Robot?**

Me Gustó Muchísimo	Me Gustó Bastante	Me Gustó	Me Molestó Un Poco	Me Molestó Bastante
_____	_____	_____	_____	_____

**Indique con una X ¿Cómo le pareció el modo Lectura en Braille?**

Totalmente Fácil	Muy Fácil	Fácil	Un Poco Difícil	Totalmente Difícil
_____	_____	_____	_____	_____

**Indique con una X:**

**¿Cómo le pareció el modo Escritura en Braille?**

Totalmente Fácil	Muy Fácil	Fácil	Un Poco Difícil	Totalmente Difícil
_____	_____	_____	_____	_____

**Indique con una X:**

**¿Cómo le pareció el modo Escribir palabras en Braille?**

Totalmente Fácil	Muy Fácil	Fácil	Un Poco Difícil	Totalmente Difícil
_____	_____	_____	_____	_____

**Marque con una X:**

**¿Qué piensa de la textura del Cubo Braille?**

Totalmente Agradable	Muy Agradable	Agradable	Un Poco Desagradable	Totalmente Desagradable
_____	_____	_____	_____	_____

**Indique con una X:**

**¿Cómo le pareció el Robot?**

Me Gustó Muchísimo	Me Gustó Bastante	Me Gustó	Me Gustó Poco	No me Gustó Nada
_____	_____	_____	_____	_____

**Indique con una X:**

**¿Cómo le hizo sentir el Robot?**

Feliz	Asustado	Enojado	Indiferente	Triste
_____	_____	_____	_____	_____

**Indique con una X:**

**¿Qué piensa de la interacción de los niños con el Robot?**

Aprenden Muchísimo	Aprenden Bastante	Aprenden	Aprenden un Poco	No Aprenden Nada
_____	_____	_____	_____	_____

**Indique con una X:**

**¿Qué piensa del Robot, sobre el aprendizaje de caracteres del Sistema Braille?**

Ayuda Muchísimo	Ayuda Bastante	Ayuda	Ayuda un Poco	No Ayuda Nada
--------------------	-------------------	-------	------------------	------------------

\_\_\_\_\_

**Indique con una X:**

**¿Qué piensa del robot, el aprendizaje de letras?**

Ayuda Muchísimo	Ayuda Bastante	Ayuda	Ayuda un Poco	No Ayuda Nada
--------------------	-------------------	-------	------------------	------------------

\_\_\_\_\_

**Indique con una X:**

**¿Qué piensa del robot, sobre el aprendizaje de los signos de puntuación en Braille?**

Ayuda Muchísimo	Ayuda Bastante	Ayuda	Ayuda un Poco	No Ayuda Nada
--------------------	-------------------	-------	------------------	------------------

\_\_\_\_\_

**¿Qué desearía que se le agregue al Robot?**

---

---

---

---

---

**¿Qué desearía que se le quite al Robot?**

---

---

---

---

---

### ENCUESTA DEL ROBOT DE ASISTENCIA BRAILLE

¡Hola! Esto **NO es un examen**, por favor, contesta las siguientes preguntas, **NO SON CALIFICADAS**. Nos servirá de mucho tu colaboración con esta encuesta

¡Muchas gracias!

ESCUELA: \_\_\_\_\_ GRADO: \_\_\_\_\_ EDAD: \_\_\_\_\_

TIPO DISCAPACIDAD: \_\_\_\_\_ %DISCAPACIDAD: \_\_\_\_\_ GENERO: MASCULINO  FEMENINO

Marca con una X: ¿Qué opinas de la voz del Robot?

				
Totalmente Agradable	Muy Agradable	Agradable	Un Poco Desagradable	Totalmente Desagradable
_____	_____	_____	_____	_____

Marca con una X: ¿Qué opinas del volumen de la voz del Robot?

				
Demasiado Alto	Muy Alto	Me parece Bien	Muy Bajo	Demasiado Bajo
_____	_____	_____	_____	_____

Marca con una X: ¿Qué opinas del sonido de los Motores?

				
Me Gustó Muchísimo	Me Gustó Bastante	Me Gustó	Me Molestó Un Poco	Me Molestó Bastante
_____	_____	_____	_____	_____

Indica con una X: ¿Cómo te pareció el modo Lectura en Braille?

				
Totalmente Fácil	Muy Fácil	Fácil	Un Poco Difícil	Totalmente Difícil
_____	_____	_____	_____	_____

Indica con una X: ¿Cómo te pareció el modo Escritura en Braille?

				
Totalmente Fácil	Muy Fácil	Fácil	Un Poco Difícil	Totalmente Difícil
_____	_____	_____	_____	_____

Indica con una X: ¿Cómo te pareció el modo Escribir palabras en Braille?

				
Totalmente Fácil	Muy Fácil	Fácil	Un Poco Difícil	Totalmente Difícil
_____	_____	_____	_____	_____

Marca con una X: ¿Qué piensas de la textura del Cubo Braille?

				
Totalmente Agradable	Muy Agradable	Agradable	Un Poco Desagradable	Totalmente Desagradable
_____	_____	_____	_____	_____

Indica con una X: ¿Cómo te sentiste aprendiendo Braille con el Robot?

				
Aprendí Muchísimo	Aprendí Bastante	Aprendí	Aprendí un Poco	No Aprendí Nada
_____	_____	_____	_____	_____

Indica con una X: ¿Qué te pareció el Robot?



Me Gustó  
Muchísimo      Me Gustó  
Bastante      Me Gustó  
Poco      No me Gustó  
Nada

\_\_\_\_\_

Indica con una X: ¿Cómo te hizo sentir el Robot?



Feliz      Asustado      Enojado      Indiferente      Triste

\_\_\_\_\_

¿Qué desearías que se le agregue al Robot?

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

¿Qué desearías que se le quite al Robot?

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## 4.2 APLICACIÓN DEL PLAN DE PRUEBAS

Se tiene un total de treinta y ocho encuestados de personas con discapacidad visual, entre ellos se encuentran nueve niños de la “Unidad Educativa Claudio Neira Garzón”, donde cuatro son del género femenino y cinco son del género masculino. Por otro lado, se tiene 28 encuestas con personas adultas de las cuales diez son del género femenino y los dieciocho restantes del género masculino, estas personas presentaron su apreciación acerca del asistente robótico, dándole comentarios positivos acerca de su utilidad, además, entregaron información valiosa sobre aspectos en los cuales el robot podría mejorar para la utilización con el usuario final. En la Figura 47, Figura 48 y Figura 49 se puede observar la aplicación de pruebas con personas con discapacidad visual.



**Figura 47** Ejecución del plan de pruebas con el asistente Robótico en la “Unidad Educativa Claudio Neira Garzón”

**Fuente:** Autor

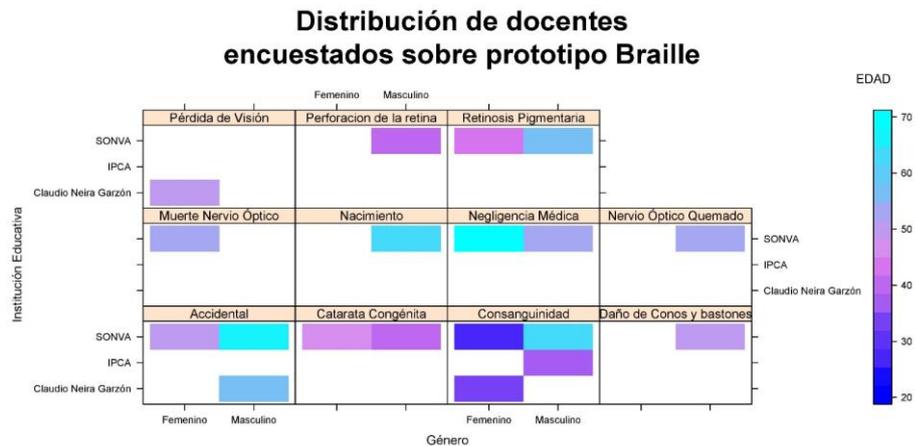


**Figura 48** Ejecución del plan de pruebas con el asistente robótico en niños con discapacidad visual  
**Fuente:** *Autor*



**Figura 49** Ejecución del plan de pruebas con el asistente robótico en la Sociedad de No Videntes SONVA  
**Fuente:** *Autor*

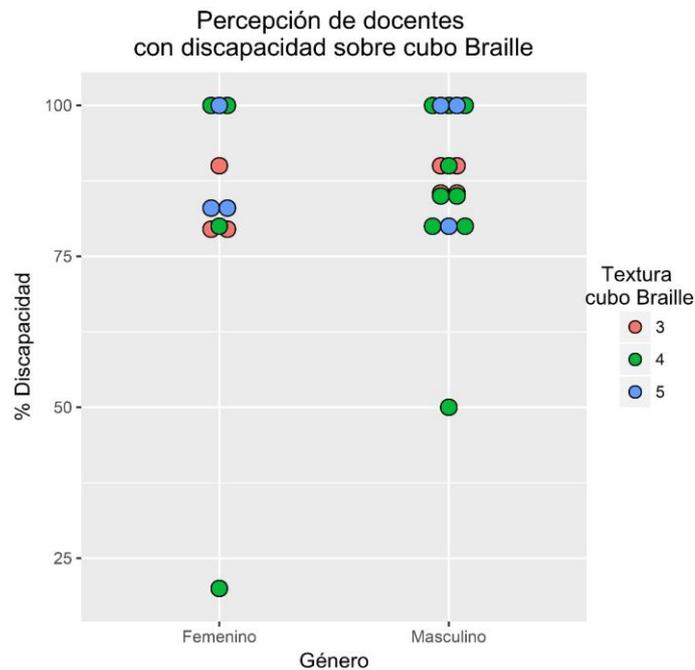
### 4.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO



**Figura 50 Distribución de docentes con discapacidad visual según edad, género, tipo de discapacidad e institución educativa donde laboran.**

**Fuente:** *Dra. Yaroslava Robles Bykbaev*

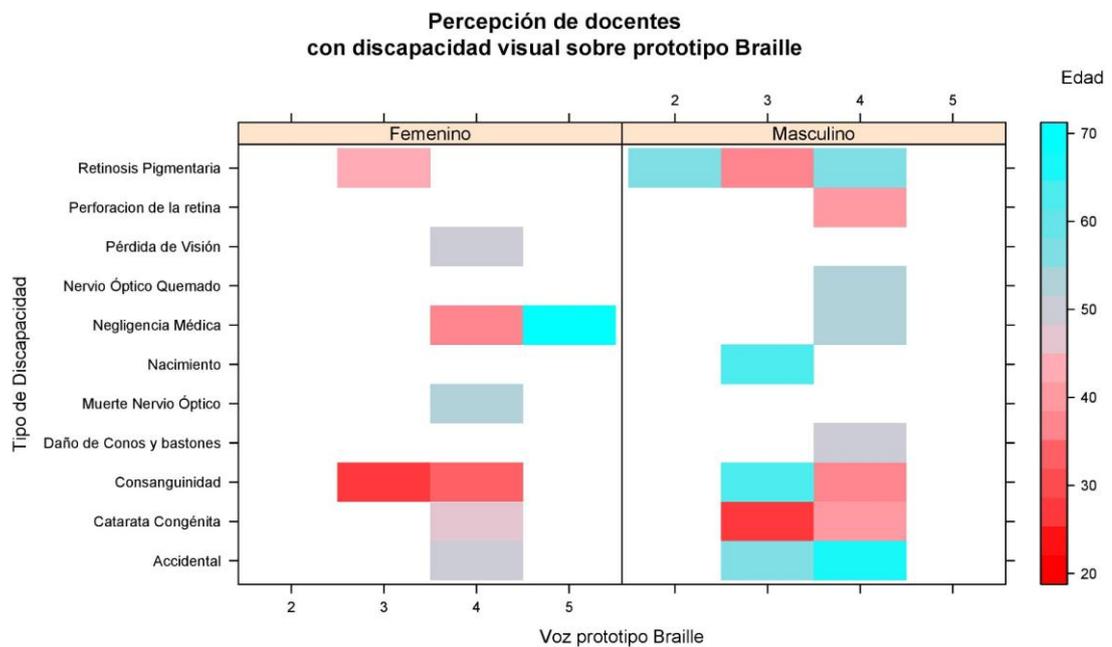
En la Figura 50 podemos apreciar que la mayoría de personas con discapacidad visual, se encuentran ubicados entre los 40 y 50 años de edad. Así mismo indicaremos que la ceguera accidental y la consanguínea son los problemas de discapacidad visual que sobresale de la muestra encuestada. Esto último es un fenómeno que predomina en el género masculino, ya que la mayoría de docentes con discapacidad visual entrevistados fueron hombres.



**Figura 51 Percepción de docentes con discapacidad sobre el cubo Braille.**

**Fuente:** *Dra. Yaroslava Robles Bykbaev*

En la Figura 51 se refleja la percepción que tienen docentes con discapacidad visual sobre la textura del cubo Braille de acuerdo al porcentaje de discapacidad visual. Se puede apreciar que es posible una relación entre el porcentaje de discapacidad visual de dichos docentes y la valoración en escala de Likert sobre la percepción de la textura del cubo Braille. Pues los docentes tanto hombres como mujeres consideran que ésta última es “agradable, muy agradable y totalmente agradable”. Y este fenómeno prevalece para las discapacidades con mayor grado. Es decir, hombres y mujeres que tienen una discapacidad entre el 75% y 100%. Finalmente, indicaremos que docentes con discapacidad visual del 100%, tanto hombres como mujeres, tienen la valoración más alta sobre la percepción de la textura del cubo: “muy agradable y totalmente agradable”.



**Figura 52 Percepción de docentes con discapacidad visual sobre el Robot**

**Fuente:** *Dra. Yaroslava Robles Bykbaev*

En la Figura 52 podemos observar cómo la mayoría de las docentes con distintos tipos de discapacidad visual consideran que la voz del robot es “muy agradable” para la mayoría de tipos de discapacidad. Sin embargo, para los hombres resulta “agradable” y “muy agradable”. Hemos de destacar que, de los tipos de discapacidad visual, la retinosis pigmentaria y la consanguínea tienen las valoraciones más bajas para el robot. En los hombres con este tipo de discapacidad visual, la voz del robot resulta “un poco desagradable”.

#### 4.4 PRUEBAS DE LABORATORIO

Principalmente en las pruebas de laboratorio se determina los tiempos de reacción que tiene el asistente robótico en cada una de sus funciones, sin embargo, también se determina el consumo energético que este posee, y dependiendo de esto, obtenemos el tiempo de duración del robot cuando este funciona con las baterías. En la Tabla 4 se ven los tiempos de respuesta del asistente Robótico.

**Tabla 4 Tiempos de respuesta del asistente robótico**

<b>ACCIÓN</b>	<b>DURACIÓN (segundos)</b>
Tiempo de Encendido	17.27
Tiempo de Apagado	10.38
Tiempo de reacción Botón Selección de Modo	1.48
Tempo de reacción Botón de Verificación	1,64
Tiempo de reacción Botón de Validación	1,52
Tiempo de reacción del movimiento del encoder de rotación	1,59

En cuanto al consumo de energía, se requiere de un abastecimiento de corriente eléctrica continua de 550mA para el funcionamiento de todo el sistema de asistente robótico, en base a esto empleamos un par de baterías con una capacidad de carga de 2000mAh, teniendo así una capacidad de almacenamiento de 4000mAh, permitiéndonos tener una autonomía del robot de aproximadamente tres a cuatro horas.

# **CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO**

## **5.1 CONCLUSIONES**

El asistente robótico es de utilidad para los centros educativos de educación especial, considerando que se lo empleará principalmente con niños con discapacidad visual. Esto es factible de inferirlo en base a las encuestas aplicadas a los docentes de las instituciones en las que se pudo realizar el estudio, donde se aprecia una valoración totalmente positiva del dispositivo, los datos obtenidos en las encuestas se avalan con el test de alfa de Cronbach, teniendo un resultado de 0.85. Este valor nos indica que la coherencia interna entre ítems es adecuada, en base a ello podemos indicar que la herramienta de recolección de información es válida para obtener datos sobre la precepción del asistente robótico de enseñanza del sistema de lecto-escritura en Braille.

En cuanto al diseño y construcción del asistente robótico, se trató de implementar un prototipo para que los niños con discapacidad visual al manipularlo sientan que es un robot amigable y se sientan motivados de interactuar con él, basándose en videos de robots ya existentes, imágenes de caricaturas y un poco de imaginación, se pudo implementar un dispositivo tratando de integrar características de estímulo positivo como una sonrisa o movimientos de sus extremidades, para ello fue fundamental un diseño simulado y probado en software para después proceder a la construcción de prototipo, esto permitió elegir los mejores componentes para su funcionamiento y realizar el mejor desarrollo posible con herramientas de alta

calidad, esto nos permitió que el robot genere un estímulo positivo dentro de las personas con o sin discapacidad visual, permitiéndonos llamar su atención e interesante de la funciones que este posee.

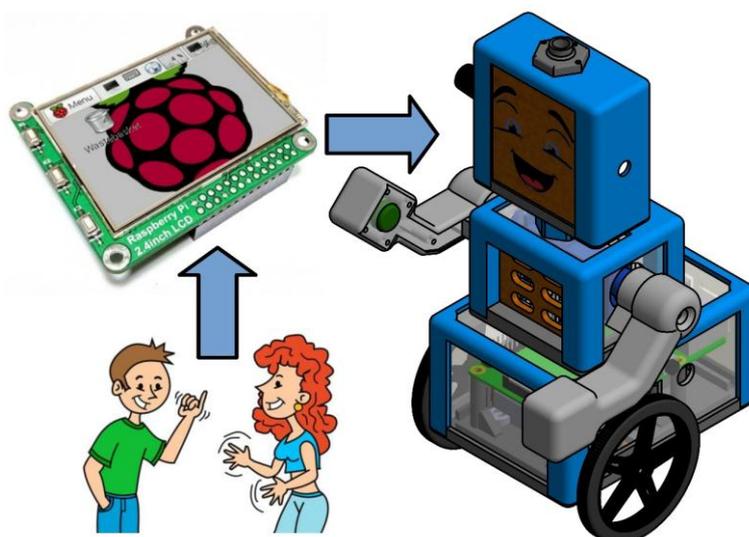
La importancia del trabajo conjunto con docentes del área de educación especial fue de suma importancia en el desarrollo del dispositivo, se obtuvo información valiosa que fue aplicada al diseño y construcción del asistente robótico. Un ejemplo de ello es la implementación de un cubo Braille para desarrollar la memorización de los caracteres del sistema, permitiéndoles a los niños con discapacidad no solo trabajar con su memoria sino desarrollar su parte motriz al momento de manipular el cubo Braille.

La implementación de un asistente robótico para niños con discapacidad visual al principio puede no tener lógica, y es que surgen cuestionamientos como: ¿Un niño ciego, puede jugar con un robot?, ¿El niño no vidente puede manipular dispositivos con sistemas electrónicos complejos? Pues en base a las pruebas que se realizó con alumnos de entre 6 a 12 años de la Unidad Educativa Claudio Neira Garzón, se pudo constatar que los niños lograron tener una afinidad con el dispositivo, provocándoles un estado de ánimo alegre al momento de utilizar sus módulos de funcionamiento, y es que el hecho de que un niño no posea uno de sus sentidos, no lo hace menos niño, es decir el niño con discapacidad visual observa de una manera diferente y puede imaginarse al robot de varias formas posibles, por medio del tacto y de las señales auditivas, se puede desarrollar un aprendizaje más entretenido y un desenvolvimiento de la inteligencia más estimulante para a un niño con discapacidad, por lo tanto nos permitimos decir que la implementación de asistentes robóticos en niños que poseen distintas discapacidades es totalmente aplicable, y va acorde a nuestra área de investigación, este propósito está alineado con la finalidad del Grupo de Investigación GIIATa y la Cátedra UNESCO de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca.



### 5.2.2. FASE TRES

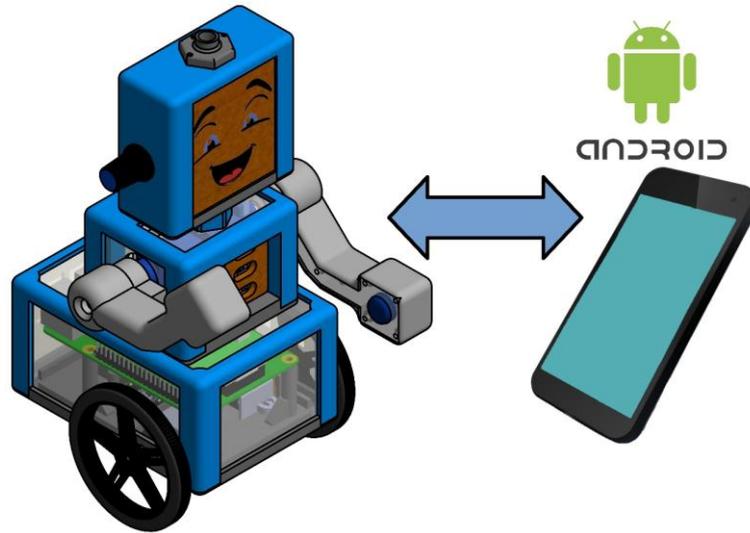
En esta fase el robot dejaría de ser únicamente orientado a niños con discapacidad visual, es decir, el robot seguirá manteniendo el sistema Braille como una de sus funciones principales, pero se le adjunta una función que será de mucha ayuda para los docentes de los centros educativos especiales, lo que se propone es: la adaptación de una pantalla en donde se puedan visualizar imágenes para la enseñanza del sistema de lenguaje de señas para personas sordo-mudas, con esto creamos un herramienta única en donde se encuentren los dos sistemas de lenguaje de comunicación más usado por los centros educativos de enseñanza para personas con distintos tipos de discapacidad, permitiendo al docente realizar un trabajo más interactivo con el niño en el desarrollo de su aprendizaje.



**Figura 54 Fase tres del asistente robótico de inclusión**  
Fuente: Autor

### 5.2.3. FASE CUATRO

Con las tres fases anteriores terminadas, se propone el desarrollo de una aplicación móvil sincronizada al asistente robótico, donde se pretende que tenga juegos interactivos relacionados a los sistemas de comunicación de personas con discapacidad visual, en este caso se trata de darle un enfoque más inclusivo al asistente robótico permitiendo a los niños sin discapacidad conocer de una manera más interactiva estos sistemas de comunicación, dando paso al desarrollo de una enseñanza novedosa en centros educativos con discapacidad o instituciones de niños sin discapacidad.



**Figura 55 Fase cuatro del asistente robótico de inclusión con la integración de app movil**  
**Fuente: Autor**

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] UNESCO (2003), *Declaración universal de los derechos humanos.*, Universidad de Navarray: Centro de Documentación Bioética.
- [2] Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (2013), *Reseña del Tratado de Marrakech para facilitar el acceso a las obras publicadas a las personas ciegas, con discapacidad visual o con otras dificultades para acceder al texto impreso*, OMPI.
- [3] E. Karna-Lin, K. Pihlainen-Bednarik, E. Sutinen y M. Virnes, «Can Robots Teach? Preliminary Results on Educational Robotics in Special Education,» de *Sixth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT'06)*, 2006.
- [4] V. Hernandez Gonzalez y G. Ramirez Torres, «Design Of Kokone, A Small Humanoid Robot,» de *6th International Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control (CCE) (2009)*, 2009.
- [5] El-Barkouky y Ahmed et al, «An Interactive Educational Drawing System Using A Humanoid Robot And Light Polarization,» de *IEEE International Conference on Image Processing (2013)*, 2013.
- [6] M. M. Da Silva y J. F. Magalhães Netto, «An Educational Robotic Game for Transit Education Based on the Lego MindStorms NXT Platform, Games and Digital Entertainment (SBGAMES),» de *Brazilian Symposium*, 2010.
- [7] SoftBank Robotics, «SoftBank Robotics,» [En línea]. Available: Disponible en: <http://www.aldebaran-robotics.com/en>. [Último acceso: 20 Abril 2018].
- [8] M. Carpio Moreta , M. Ochoa Guaraca, L. Serpa Andrade, V. Robles Bykbaev, M. Lopez Nores y J. Duque, «A robotic assistant to support the development of communication skills of children with disabilities,» de *IEEE 11th Colombian Computing Conference (CCC)*, 2016.

- [9] A. Sabiani, «Louis BRAILLE,» *Revue Francophone d'Orthoptie*, vol. 8, nº 3, pp. 234-237, 2015.
- [10] «NBP Learn About Braille: Who is Louis Braille,» Nbp.org, 2018. [En línea]. Available: <http://www.nbp.org/ic/nbp/braille/whoislouis.html>. [Último acceso: 25 Mayo 2018].
- [11] I. Martínez-Liévana y D. Polo-Chacón, *Guía didáctica para la lectoescritura Braille*, Madrid: ONCE: Dirección de Educación, 2004.
- [12] Z. Jawasreh, N. Ashaari y D. Dahnil, «Braille tutorial model using braille fingers puller,» de *2017 6th International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICEEI)*, 2017.
- [13] J. Guerreiro, D. Gonçalves, D. Marques, T. Guerreiro, H. Nicolau y K. Montague, «Thetodayandtomorrowof Braille learning,» de *Proceedings of the 15th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility - ASSETS '13*, 2013.
- [14] C. Southern, J. Clawson, B. Frey, G. Abowd y M. Romero, «Braille Touch,» de *Proceedings of the 14th international conference on Human-computer interaction with mobile devices and services companion - MobileHCI '12*, 2012.
- [15] B. C. Putnam y J. H. Tiger, «Teaching braille letters, numerals, punctuation, and contractions to sighted individuals,» *Journal of applied behavior analysis*, vol. 48, nº 2, pp. 466-471, 2015.
- [16] P. J. Osuch y S. Sinha, «An electronic solution to automate the process of grade-1 braille training,» de *Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)*, 2013.
- [17] H. Nicolau, J. Guerreiro, T. Guerreiro y L. Carricño, «Ubibraille: designing and evaluating a vibrotactile braille-reading device,» de *Proceedings of the 15th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, 2013.

- [18] C. Jayant, C. Acuario, W. Johnson, J. Hollier y R. Ladner, «V-braille: haptic braille perception using a touch-screen and vibration on mobile phones,» de *Proceedings of the 12th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility*, 2010.
- [19] J. Rantala, R. Raisamo, J. Lylykangas, V. Surakka, J. Raisamo, K. Salminen, T. Pakkanen y A. Hippula, «Methods for presenting braille characters on a mobile device with a touchscreen and tactile feedback,» *IEEE Transactions on Haptics*, vol. 2, n° 1, pp. 28-39, 2009.
- [20] Z. Al-Qudah, I. A. Doush, F. Alkhateeb, E. Al Maghayreh y O. AlKhaleel, «Reading braille on mobile phones: A fast method with low battery power consumption,» de *User Science and Engineering (i-USEr)*, 2011.
- [21] J. Tang, «Using ontology and rfid to develop a new chinese braille learning platform for blind students,» *Expert Systems with Applications*, vol. 40, n° 8, p. 2817–2827, 2013.
- [22] V. Robles-Bykbaev, A. Guzhñay-Lucero, D. Pulla-Sánchez, F. Pesántez-Avilés, P. Suquilanda-Cuesta y E. Bernal-Merchán, «A Multifunction Braille Trainer Based On Embedded Systems, Mobile Apps, Rule-based Reasoning and data mining for Children With Visual Impairment,» *Computación y Sistemas*, vol. 22(4), 2018.

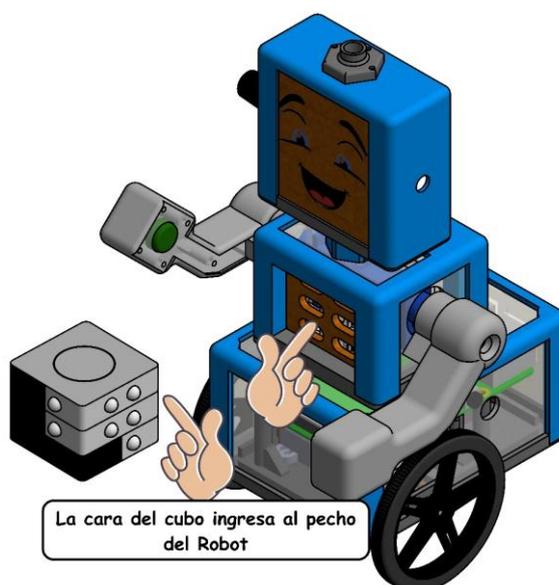
## 6. ANEXOS

### MANUAL DE USUARIO

Este Robot está diseñado para la enseñanza del sistema de lectura y escritura Braille en niños con discapacidad visual entre 6 a 8 años de edad, permitiéndoles mejorar los tiempos en el aprendizaje de los códigos de cada letra o carácter Braille del mencionado sistema, además permite enfocar este dispositivo a un ámbito más inclusivo, es decir los niños sin discapacidad pueden aprender con el robot un método de comunicación totalmente nuevo para ellos, de una forma didáctica y entretenida.

En este manual se muestran los aspectos más relevantes para el funcionamiento del Robot, se describe sus modos de aprendizaje y la interacción entre el usuario y el dispositivo. En caso de que se presente alguna falla, acudir a los expertos de la Catedra UNESCO de la Universidad Politécnica Salesiana para su arreglo respectivo.

#### CUBO BRAILLE



**Figura 56** Ubicación del Cubo en el asistente robótico

Fuente: Autor

El Cubo Braille está basado en el juego tradicional del cubo Rubik, sin embargo, este posee solo un eje de rotación con tres piezas que giran alrededor de él, donde cada pieza contiene parte del código generador Braille permitiendo poder

codificar cada uno de los caracteres del sistema de lectura y escritura, este componente es esencial ya que es el medio de comunicación entre el usuario y el asistente Robótico.

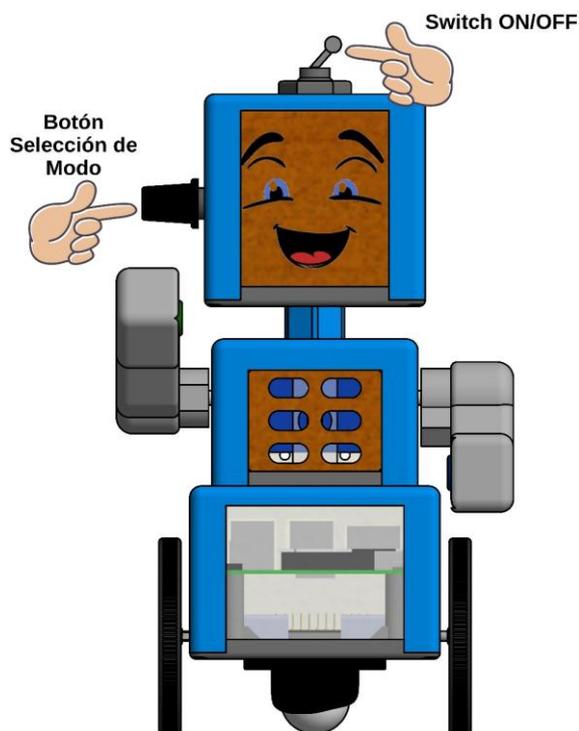
Lo importante es reconocer que la cara del cubo en donde se pone el carácter Braille debe ingresar en el pecho del robot para poder verificar su respuesta. Como se muestra en la Figura 56.

### **SWITCH DE ENCENDIDO Y APAGADO (ON/OFF)**

Un switch de dos posiciones que permite encender a todo el asistente robótico y cuando ya no se lo desee utilizar, basta con moverlo hacia la otra posición para apagarlo. Ver Figura 57.

### **BOTÓN DE SELECCIÓN DE MODO**

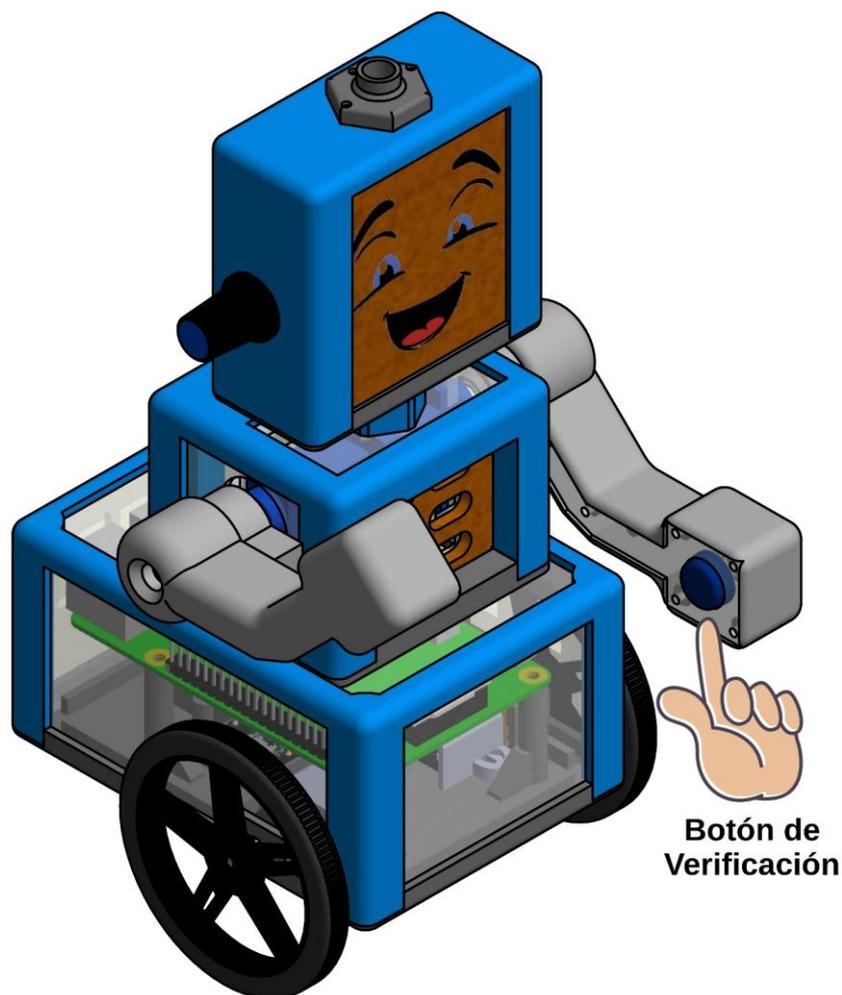
Este botón permite escoger una de las tres opciones de enseñanza en Braille que posee el dispositivo, solo es necesario pulsarlo y el asistente robótico le notificara a qué modo accedió mediante un mensaje de audio, posteriormente comenzara a desarrollar los ejercicios que el Robot le solicite.



**Figura 57** Ubicación del switch de ON/OFF y el botón selección de modo  
Fuente: Autor

## **BOTÓN DE VERIFICACIÓN DE RESPUESTA**

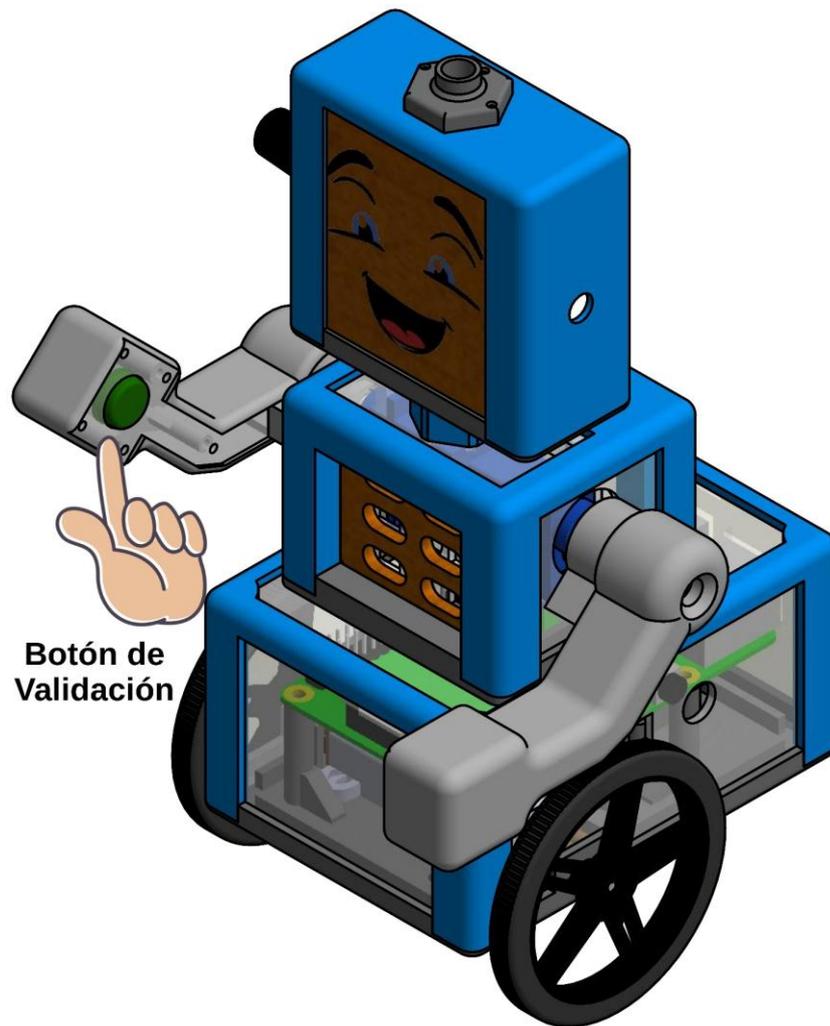
Es un botón de color azul ubicado en la mano izquierda del Asistente Robótico, cuando el robot le haga un requerimiento al usuario, este podrá verificar su respuesta mediante este botón, al hacerlo el dispositivo mostrará un estímulo positivo en caso de que la respuesta sea correcta y uno negativo de ser incorrecta.



**Figura 58 Ubicación del botón de Verificación**  
Fuente: *Autor*

## **BOTÓN DE VALIDACIÓN**

Es un botón de color verde ubicado en la mano derecha del Asistente Robótico, este permite almacenar un carácter o letra en la memoria del robot para posteriormente poder formar palabras o frases que el dispositivo dirá por medio de su sintetizador de voz.



**Figura 59** Ubicación del botón de Validación  
Fuente: *Autor*

### **PERILLA PARA ADELANTAR O RETROCEDER LA LETRA**

El *botón selección de modo* cumple otra función en el Asistente Robótico, a más de ser un botón, también permite adelantar o retroceder la letra que se desea trabajar, esto debido a que es una pequeña perilla con rotaciones infinitas en ambos sentidos, dando la posibilidad de ignorar letras que ya el usuario ya domina perfectamente.

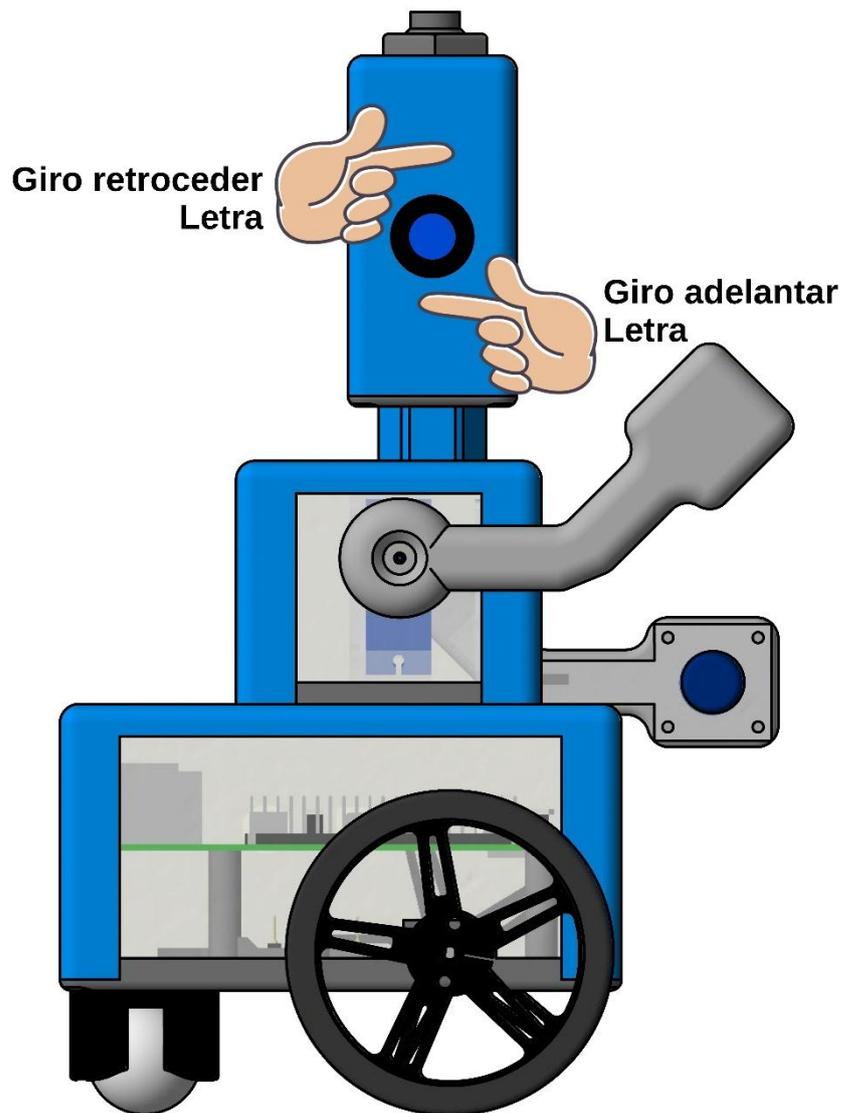
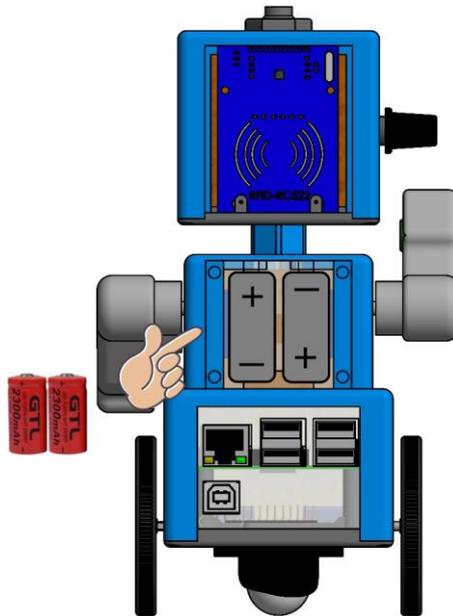


Figura 60 Ubicación de la perilla para adelantar o retroceder la letra  
Fuente: Autor

## CONEXIÓN DE LAS BATERÍAS DEL ROBOT

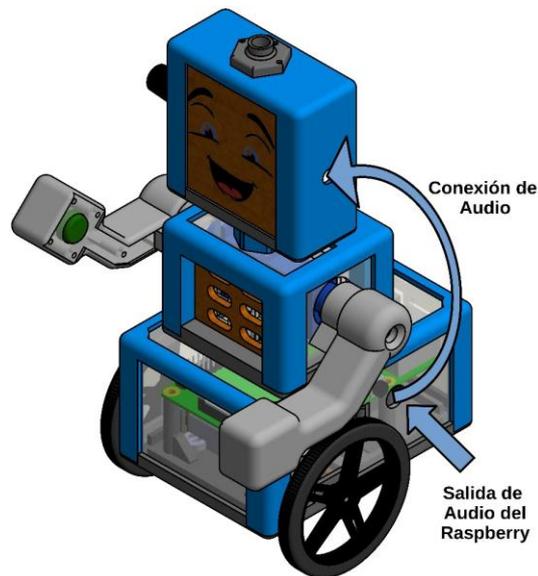
Con la ayuda de un destornillador plano, se remueve los cuatro tornillos que sujetan la tapa de acrílico que protege a las baterías, se remueve las descargadas y se las pone a cargar, entonces reemplazamos las anteriores por unas totalmente cargadas. El asistente robótico posee dos pares de baterías recargables para optimizar su funcionamiento, también posee un cargador específico para estas baterías de modelo GTL 16340 2300 mAh.



**Figura 61 Ubicación de las Baterías en el asistente robótico**  
 Fuente: *Autor*

## CONEXIÓN DE AUDIO EN EL ROBOT

Para la conexión del parlante del Robot se requiere de un cable auxiliar de audio 35mm, este se conecta directamente entre la entrada de los parlantes y la salida del Raspberry, en caso de requerir de parlantes de mayor potencia o de audífonos personales, se conecta directamente al a la salida de audio del Raspberry.



**Figura 62 Salida de audio del asistente robótico**  
 Fuente: *Autor*

## ACCESO PARA INICIO DE SESIÓN DE TRABAJO

El asistente Robótico posee un acceso de usuarios para registrar en reportes sus sesiones de trabajo, solo necesita una tarjeta de acceso personal y que sus datos estén registrados dentro de la base de datos del Robot; de requerir el ingreso de datos de algún estudiante, por favor contactarse con personal de la Catedra UNESCO o el grupo de investigación GIIATA de la Universidad Politécnica Salesiana, los expertos del área se encargaran de registrar los datos que sean necesarios.

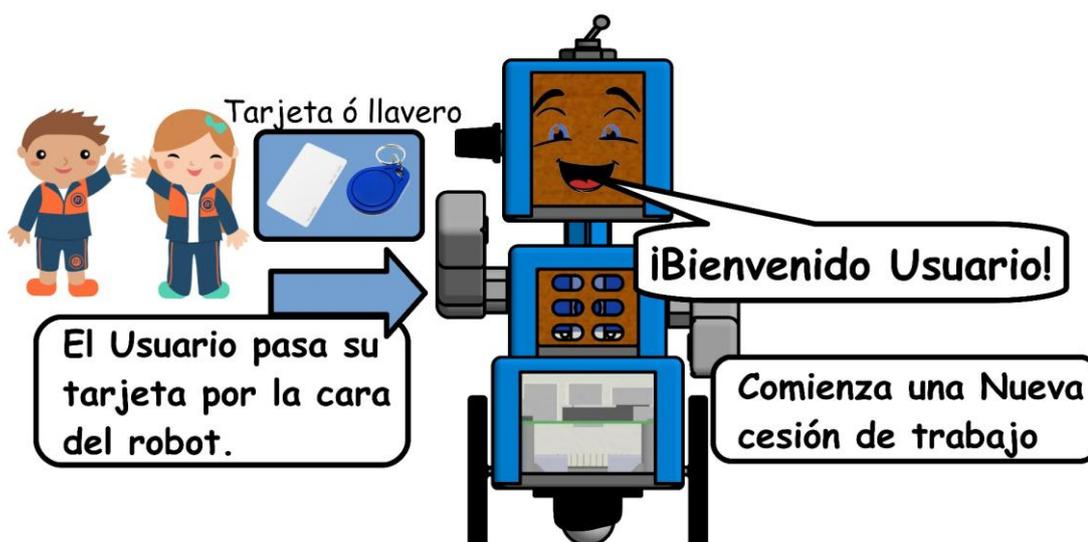


Figura 63 Proceso de inicio de sesión de trabajo en el asistente robótico

Fuente: Autor

## MODOS DE APRENDIZAJE

### Lectura en Braille

Este modo permite al Usuario realizar el aprendizaje de cómo se debe leer los caracteres en código Braille, mediante el sintetizador de voz el robot le pregunta a la persona “¿Cómo se debe leer la letra A?”, ante lo cual el usuario debe responder mediante el cubo el carácter solicitado, a partir de ahí verificará su respuesta pulsando el *botón de verificación* (en el Robot es el botón azul), dependiendo de si la respuesta es correcta, el robot le indicará “Correcto” y continuará con la siguiente carácter que se le presente, caso contrario le dirá “Incorrecto, inténtalo de nuevo” repitiendo otra vez la solicitud del carácter equivocado.

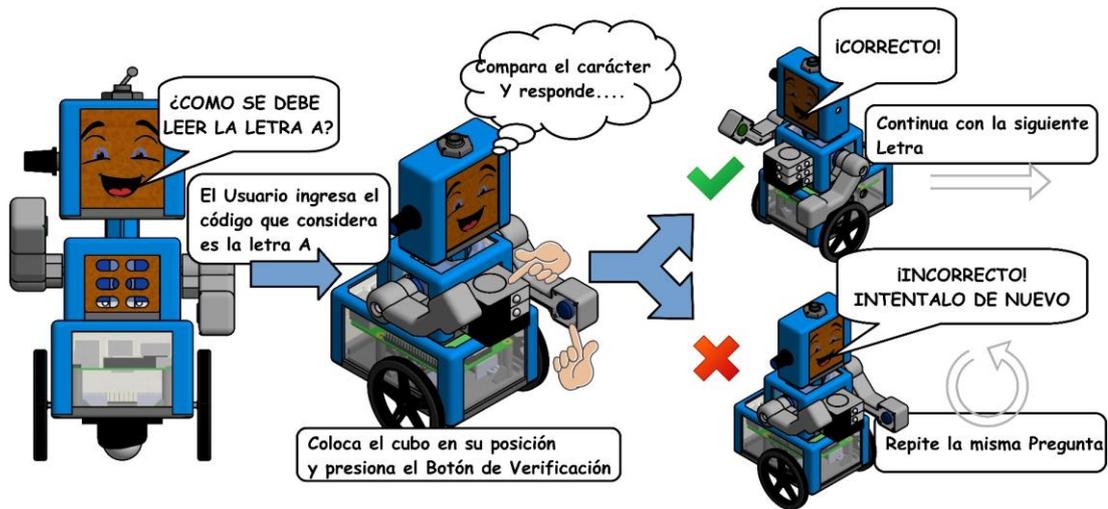


Figura 64 Secuencia de interacción en el modo lectura en Braille

Fuente: Autor

### Escritura en Braille

Este modo es similar al de lectura en Braille, el Usuario debe realizar las mismas acciones, pero en este caso la codificación en el cubo cambia de sentido de orientación, esto obviamente será guiado por el docente que se encuentre trabajando con la persona.

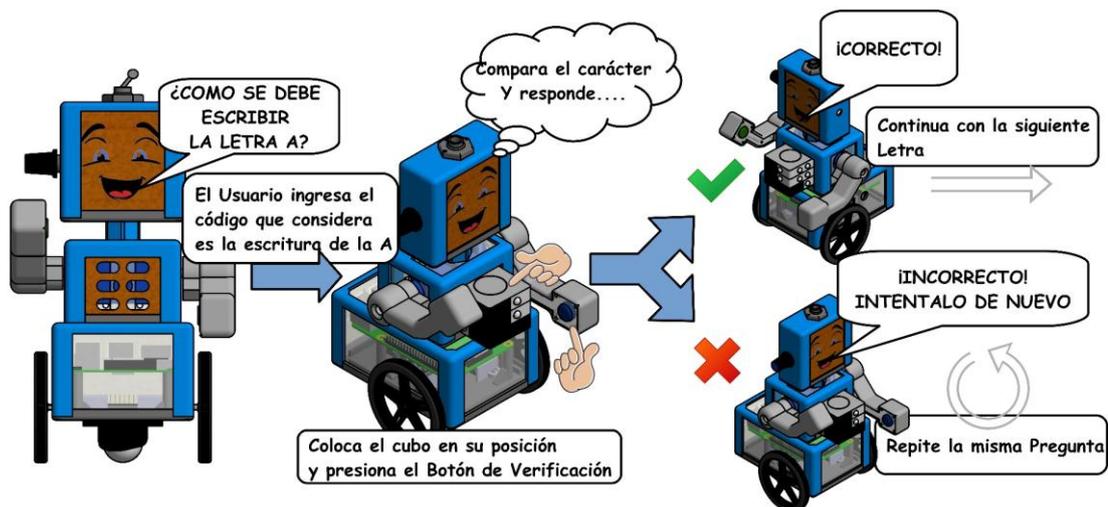


Figura 65 Secuencia de interacción en el modo escritura en Braille

Fuente: Autor

## Escribir palabras en braille

Este modo le permite al usuario escribir palabras o incluso oraciones para que después el robot mediante el sintetizador de voz lea dicho contenido de texto. Una vez más ayudándose del cubo, la persona puede escribir letra por letra alguna palabra u oración, por ejemplo, si el usuario desea escribir HOLA deberá realizar el proceso que se indica a continuación. En el cubo digita el carácter de escritura de la letra H y se lo ubica al robot, ayudándose del **botón de validación** (en el Robot es el botón verde) guarda la letra H y el robot le notificará “*Escribiste H*”, luego continua con el mismo proceso para las demás letras. Una vez que se ha terminado de escribir la palabra, se puede solicitar que el asistente robótico lea lo que la persona escribió, para ello utiliza el **botón de verificación** (en el Robot es el botón azul) este le responderá con la lectura de la palabra “*HOLA*”.

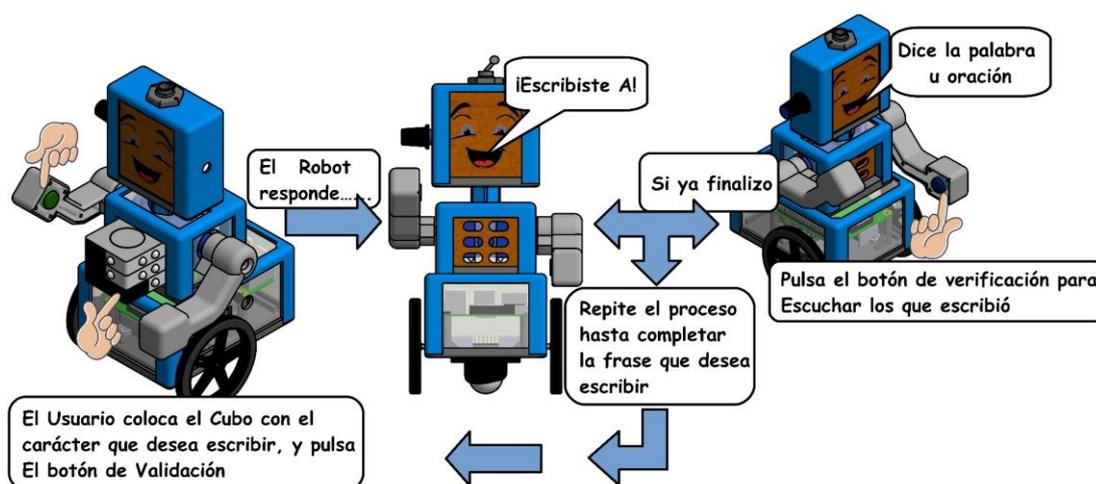


Figura 66 Secuencia de interacción en el modo escribir palabras en Braille

Fuente: Autor

## ANÁLISIS ECONÓMICO

### Precio de los componentes

COMPONENTE	CANTIDAD	Valor Unitario	Valor Total
Raspberry Pi 2	1	35.00	35.00
Arduino PRO micro	1	11.00	11.00
Micro-Motores MOT_0728	2	17.85	35.70
Brackets de sujeción para Micro-Motores	2	4.00	4.00
Servomotores SG90	2	9.00	18.00
Regulador de Voltaje Step-Down 5V/1A D24V10F5	1	12.00	12.00
Amplificador de audio clase D PAM8403	1	9.00	9.00
Parlante 8Ω/2W	1	1.00	1.00
Encoder de Rotación	1	6.00	6.00
Jack de Audio	1	1.00	1.00
Tarjeta RFID RC522	1	10.00	10.00
Switch ON/OFF	1	0.25	0.25
Led RGB	2	0.25	0.50
Tarjeta electrónica Sensores	1	40.00	40.00
Imán de Neodimio 10mm de diámetro	11	0.50	5.50
Sócalo para Baterías GTL LS 16340	2	2.00	4.00
Par de Baterías GTL LS 16340 3.7V 2300mAh	1	13.00	13.00
Pulsantes NA	4	0.50	2.00
Rueda giratoria	1	4.18	4.18
Par de Llantas para Micro-Motores Pololu	1	7.14	7.14
Corte de piezas en Acrílico	1	5.00	5.00
Impresión de las piezas 3D	1	39.00	39.00
10 Metros de cable AWG30	1	10.00	10.00
<b>TOTAL</b>			<b>273.27</b>

El costo total del prototipo es de doscientos sesenta y tres dólares con veintisiete centavos, lo que comparado con otros dispositivos de asistencia para el aprendizaje en Braille, este resulta de un precio más económico para una entidad educativa o los padres de familia de los niños con discapacidad.

Si se desea comercializar el prototipo se debe tener en cuenta el precio de fabricación anteriormente mencionado, y la rentabilidad que deseemos tener de este, para el caso será de un margen de ganancia del 50%. Si aplicamos la fórmula obtendríamos.

$$P = C * \frac{100}{100 - R}$$

$$P = 273.27 * \frac{100}{100 - 50}$$

$$P = 546.54$$

El precio de comercialización sería de quinientos cuarenta y seis dólares con cincuenta y cuatro centavos, lo que comparado con otros dispositivos de enseñanza o aprendizaje en braille, este precio resulta económico y podría ser adquirido por las instituciones educativas de educación especial o padres de familia de niños con discapacidad visual.

En la siguiente tabla se muestra una comparación de precio de diferentes dispositivos.

<b>DISPOSITIVO</b>	<b>Precio</b>
<i>Robot Braille</i>	<i>546.54</i>
Actilino línea braille y anotador	2739.00
Robot NAO	5790.00