



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA
ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL

TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA

TEMA: INVESTIGACIÓN, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE
INTÉRPRETE HUMANOIDE CON VISIÓN ARTIFICIAL PARA LA

ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE LENGUAJE DE SEÑAS
ECUATORIANA PARA NIÑAS Y NIÑOS CON DISCAPACIDAD

AUDITIVA

AUTORES: ANDRANGO ANDRANGO, CRISTIAN FERNANDO

TALABERA JÁCOME, DAVID PATRICIO

DIRECTOR: MSc. CONSTANTE PRÓCEL, PATRICIA NATALY

LATACUNGA

2019



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, ***“INVESTIGACIÓN, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE INTÉRPRETE HUMANOIDE CON VISIÓN ARTIFICIAL PARA LA ENSEÑANZA- APRENDIZAJE DE LENGUAJE DE SEÑAS ECUATORIANA PARA NIÑAS Y NIÑOS CON DISCAPACIDAD AUDITIVA”*** fue realizado por los señores ***Andrango Andrango, Cristian Fernando y Talabera Jácome, David Patricio*** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 23 de Julio del 2019

MSc. Constanze Pröcel, Patricia Nataly

DIRECTORA



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, *Andrango Andrango, Cristian Fernando y Talabera Jácome, David Patricio*, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: ***“INVESTIGACIÓN, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE INTÉRPRETE HUMANOIDE CON VISIÓN ARTIFICIAL PARA LA ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE LENGUAJE DE SEÑAS ECUATORIANA PARA NIÑAS Y NIÑOS CON DISCAPACIDAD AUDITIVA”*** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz

Latacunga, 23 de Julio del 2019

Andrango Andrango, Cristian Fernando

C.C.: 0503968067

Talabera Jácome, David Patricio

C.C.: 0401582127



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, *Andrango Andrango, Cristian Fernando y Talabera Jácome, David Patricio*, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: ***“INVESTIGACIÓN, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE INTÉRPRETE HUMANOIDE CON VISIÓN ARTIFICIAL PARA LA ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE LENGUAJE DE SEÑAS ECUATORIANA PARA NIÑAS Y NIÑOS CON DISCAPACIDAD AUDITIVA”*** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 23 de Julio del 2019



Andrango Andrango, Cristian Fernando

C.C.: 0503968067



Talabera Jácome, David Patricio

C.C.: 0401582127

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de titulación a mis padres, María Elvira, y Luis Alfredo, por apoyarme y guiarme en mi camino, siendo un ejemplo de esfuerzo, a seguir y permitirme llegar hasta lo que años atrás me propuse. A mis hermanos por sus palabras de aliento, sus consejos, ánimos que me ayudaron a continuar durante mi vida universitaria. Por último dedico este trabajo a mi pequeño Iker que fue la luz para no rendirme nunca

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, Patricio y Virginia, quienes nunca dejaron de creer en mí y a base de mucho sacrificio y esfuerzo han sido el pilar fundamental para conseguir este logro tan difícil y anhelado, siendo mi apoyo incondicional y guía en todo momento, en lo bueno y en lo malo. A mis hermanas quienes han sido mis compañeras incondicionales. Y a toda mi familia que ha estado conmigo en cada circunstancia de mi vida y de mi formación profesional.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por darme salud, fuerza y sabiduría para conseguir os objetivos planteados.

A mis padres un Dios le pague, por estar siempre conmigo apoyándome para alcanzar mis metas, ayudándome en todo momento, haciendo hasta lo imposible para que yo continúe, hoy y siempre les agradezco.

Gracias mis hermanos por estar ahí, en los momentos difíciles, apoyándome sin condición, un infinito abrazo para uds.

Gracias por llegar a mi vida en el momento indicado, por ser esa fuerza que me ayuda, y la luz de mi camino, sin ti mi pequeño Iker esto no hubiera sido posible, gracias por formar parte de mi vida y de mi familia. Gracias mi Familia Andrango.

A todos mis amigos, gracias por estar ahí durante esta travesía, en los momentos difíciles, de angustia, en aquellos momentos que recordaremos por un largo tiempo, gracias y suerte ya que hasta aquí hemos caminado juntos.

Un especial agradecimiento para la Ingeniera Patricia Constate, por compartir su amplio conocimiento para llevar a cabo este proyecto, y finalizarlo de la mejor manera.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por darme la vida y la fuerza necesaria para alcanzar este logro tan anhelado.

A mis padres gracias infinitas porque han sido la razón para seguir adelante, por su apoyo incondicional, por no dejarme caer, y levantarme siempre en cada caída, por cada consejo, por enseñarme que en base a de perseverancia y sacrificio todo se puede lograr.

A mis hermanas, Melany y Emily que me han acompañado en todo este trayecto y siempre confiaron en mí, a mis abuelos Roquito y Enmita por brindarme siempre una palabra de aliento y apoyo cuando lo he necesitado, a Alexa por ser un apoyo incondicional, por sus consejos y palabras de ánimo en momentos de debilidad, por ser mi amiga, mi confidente

A mis amigos que siempre han sido incondicionales y me han apoyado en cada circunstancia por ser como una familia en la distancia y con los cuales he pasado experiencias grandiosas e inolvidables que se quedan guardadas en mi corazón.

Finalmente, un agradecimiento muy especial a la Ingeniera Patricia Constante, por su paciencia por su don de gente y por guiarme de la mejor manera con sus amplios conocimientos en la realización de este proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
RESUMEN	xviii
ABSTRACT	xix

CAPÍTULO I

FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1. Educación para niños con discapacidades en el ecuador	1
1.1.1. Definición de discapacidad.	1
1.1.2. Educación Especial.	1

1.1.3. Educación inclusiva en el Ecuador.....	2
1.2. Lenguaje de señas ecuatoriano	3
1.3. Inteligencia artificial	3
1.3.1. Aprendizaje y razonamiento Automático.....	4
1.3.2. Procesamiento de Lenguaje Natural.....	5
1.3.3. Redes Neuronales Artificiales	5
1.4. Visión artificial.....	6
1.4.1. Componentes de visión artificial.....	7
1.4.2. Tipos de Iluminación.....	9
1.4.3. Fuentes de Iluminación	13
1.5. Plataformas libres para desarrollo de visión artificial	16
1.5.1. Aplicaciones de los sistemas de visión artificial	17
1.5.2. Lectura de código QR	18
1.5.3. Librerías para visión artificial	18
1.6. Lenguaje de programación	19
1.6.1. Tipos.....	20
1.7. Robot interactivo aplicado a la educación.....	22
1.7.1. Robots Actualmente implementados en la educación.....	22
1.8. Sistemas de comunicación para transmisión de datos.....	26

CAPÍTULO II

ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS

2.1. Introducción	28
2.2. Subsistemas y componentes del proyecto	29
2.3. Necesidades y especificaciones técnicas	31
2.3.1. Especificaciones técnicas	31
2.3.2. Método de evaluación	32
2.4. Sistema de control	32
2.4.1. Tarjeta de control	33
2.4.2. Aplicación móvil	36
2.4.3. Sistema de transmisión de datos	37
2.5. Sistema de visión artificial	38
2.5.1. Cámara fotográfica	38
2.5.2. Selección del lenguaje de programación	39
2.6. Interprete humanoide	40
2.6.1. Plataforma móvil	41
2.6.2. Descripción de la plataforma tipo oruga T300 Caterpillar	42
2.6.3. Módulo control de motores DC T300	43
2.6.4. Motor para el movimiento de la parte superior del Robot	45
2.7. Módulo controlador de servomotores	48
2.8. Componentes seleccionados	49

CAPÍTULO III

CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

3.1. Construcción mecánica	53
3.1.1. Modificación de piezas del robot	53
3.1.2. Impresión de piezas en 3D	54
3.1.3. Ensamblaje del Robot.....	54
3.2. Construcción electrónica y de control	58
3.2.1. Partes de la programación	58
3.2.2. Requisitos de Software.....	62
3.2.3. Conexiones y diagrama de conexión.....	62
3.2.4. Configuración Bluetooth	65
3.2.5. Esquema del proyecto	66
3.3. Aplicación Móvil.....	70
3.3.1. Diseño de la Aplicación Móvil.....	70
3.4. Comunicación Bluetooth.....	73
3.4.1. Configuración del Bluetooth en la Aplicación móvil.....	74

CAPÍTULO IV

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

4.1. Prueba de duración de batería	76
4.2. Pruebas de Códigos QR y comunicación inalámbrica bluetooth	77

4.3. Pruebas de funcionamiento con el intérprete humanoide Signbot.....	81
4.3.1. Pruebas de enseñanza	83
4.4. Validación de hipótesis	87
4.5. Análisis de costos	90

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones	93
5.2. Recomendaciones.....	95

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

96

ANEXOS

102

ANEXO A. LISTADO DE PALABRAS

ANEXO B. DIAGRAMA DE CONEXIÓN GENERAL

ANEXO C. ALGORITMOS

ANEXO D. PRUEBAS DE LECTURA QR Y TRANSMISIÓN BT

ANEXO E. ENCUESTA

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	<i>Componentes del proyecto</i>	30
Tabla 2.	<i>Especificaciones técnicas del proyecto</i>	32
Tabla 3.	<i>Escala de calificación</i>	32
Tabla 4.	<i>Comparativa de tarjetas de control</i>	33
Tabla 5.	<i>Evaluación de alternativas de la tarjeta de control</i>	34
Tabla 6.	<i>Características de Raspberry Cam</i>	39
Tabla 7.	<i>Criterios para la selección de lenguaje de programación</i>	40
Tabla 8.	<i>Comparación de alternativas para plataforma móvil</i>	42
Tabla 9.	<i>Selección de Módulo control de motores</i>	44
Tabla 10.	<i>Evaluación de alternativas de la tarjeta de control de motores</i>	45
Tabla 11.	<i>Comparación de los motores</i>	46
Tabla 12.	<i>Evaluación de alternativas de motores</i>	47
Tabla 13.	<i>Características de servomotor TowerPro MG995</i>	48
Tabla 14.	<i>Componentes que conforman el robot intérprete</i>	50
Tabla 15.	<i>Piezas modificadas del robot Inmoov.</i>	53
Tabla 16.	<i>Parámetros de impresión de las piezas</i>	54
Tabla 17.	<i>Conexiones de los servos</i>	63
Tabla 18.	<i>Valores mínimo y máximo de los servomotores</i>	63
Tabla 19.	<i>Pruebas de Autonomía</i>	76
Tabla 20.	<i>Reconocimiento de la QR a diferentes distancias 0.2 hasta 1 (metro)</i>	78
Tabla 21.	<i>Pruebas de comunicación bluetooth (BT)</i>	79
Tabla 22.	<i>Lectura de las QR y Transmisión de datos BLUETOOTH (BT)</i>	80
Tabla 23.	<i>Porcentajes de aceptación de la población</i>	81
Tabla 24.	<i>Lenguaje de señas Ecuatoriana interpretadas por Signsbot</i>	82
Tabla 25.	<i>Prueba de enseñanza por medio de Signsbot</i>	84
Tabla 26.	<i>Datos de encuesta adultos mayores de 18 años</i>	85
Tabla 27.	<i>Datos de encuesta de niños menores de 12 años</i>	86
Tabla 28.	<i>Frecuencia observada (f_o)</i>	88
Tabla 29.	<i>Frecuencia esperada (f_e)</i>	88

Tabla 30.	<i>Costos impresión 3D</i>	90
Tabla 31.	<i>Costos de estructura</i>	90
Tabla 32.	<i>Costos de material eléctrico y electrónico</i>	91
Tabla 33.	<i>Costos de los complementos</i>	91
Tabla 34.	<i>Costo general del proyecto</i>	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Lenguaje de señas ecuatoriano.....	3
Figura 2.	Componentes de un sistema de visión artificial.....	7
Figura 3.	Luz frontal.....	9
Figura 4.	Luz Lateral	10
Figura 5.	Iluminación por Campo Oscuro.....	10
Figura 6.	Iluminación por Contraste.....	11
Figura 7.	Iluminación Axial difusa.....	12
Figura 8.	Iluminación difusa	12
Figura 9.	Iluminación por laser	13
Figura 10.	Luz Fluorescente	14
Figura 11.	Luz Halógena	14
Figura 12.	Luz Xenón.....	15
Figura 13.	Luz LED.....	15
Figura 14.	Luz Láser	16
Figura 15.	Fibra Óptica	16
Figura 16.	Visión artificial	17
Figura 17.	Código QR	18
Figura 18.	Teebot	23
Figura 19.	NAO.....	23
Figura 20.	Zowi	24
Figura 21.	Rapiro.....	25
Figura 22.	Rapiro.....	25
Figura 23.	Sistema de comunicación Bluetooth.....	26
Figura 24.	Sistema de comunicación WIFI.....	27
Figura 25.	Sistema de comunicación Zigbee.....	27
Figura 26.	Proceso de Diseño.....	28
Figura 27.	Sistemas del Intérprete Humanoide	30
Figura 28.	Interfaz Android Studio	36
Figura 29.	T300 Caterpillar	42

Figura 30.	Servomotor MG995	47
Figura 31.	Módulo Pca 9685	48
Figura 32.	Componentes.....	49
Figura 33.	Funcionamiento del Robot.....	52
Figura 34.	Ensamble explosionado de un dedo.....	55
Figura 35.	Mano	55
Figura 36.	Ensamble de antebrazo.....	56
Figura 37.	Ensamble del bísep.	57
Figura 38.	Ensamble del hombro	57
Figura 39.	Ensamble del torso	58
Figura 40.	Ventana principal del proyecto	59
Figura 41.	Ventana de configuración de los ángulos de los Servos	60
Figura 42.	Movimiento de la boca en alfabeto	61
Figura 43.	Componentes.....	62
Figura 44.	Archivos del proyecto	66
Figura 45.	Ciclos de trabajo	67
Figura 46.	Ventana principal Qt designer.....	67
Figura 47.	Ventana setear servos.ui.....	69
Figura 48.	Lista de los valores de los servomotores.....	70
Figura 49.	Sección de números de la aplicación	71
Figura 50.	Código fuente y parámetros para la creación de un botón	71
Figura 51.	Activity principal	72
Figura 52.	Ciclo de vida de una Activity.....	73
Figura 53.	Permisos Bluetooth	74
Figura 54.	Librerías	74
Figura 55.	Selección de dispositivo.....	74
Figura 56.	Librerías	75
Figura 57.	Grupo de estudiantes	83
Figura 58.	Porcentaje de aprendizaje.....	84
Figura 59.	Encuesta realizada a estudiantes	85
Figura 60.	Porcentaje de aceptación adultos	85
Figura 61.	Porcentaje de aceptación niños	86

Figura 62. Tabla Chi Cuadrado 89

RESUMEN

La presente proyecto trata de la investigación de nuevos métodos de adquisición de datos mediante visión artificial, particularmente utilizando código de respuesta rápida (QR) que permita implementar un intérprete humanoide, basado en los ya existentes, el modelo base que se tomó para nuestro proyecto es el INMOV, que facilite la enseñanza-aprendizaje de lenguaje de señas ecuatoriana orientado a niñas y niños con discapacidad auditiva que están iniciando su aprendizaje, para introducir una nueva herramienta didáctica que sirva de apoyo a los métodos, existentes, permitiendo mejorar el aprendizaje y contribuyendo a la inclusión social. El sistema de visión artificial identifica números de 1 hasta el 9, las letras del alfabeto y una lista de 100 palabras comúnmente utilizadas en la comunicación que se encuentra dentro de una lista específica, que se tiene un juego de tarjetas que sirvan de material didáctico, las cuales tendrá impreso una imagen representativa y su respectivo código QR, dispuestas dentro del área de visión del robot. El sistema de control mediante una aplicación móvil, tiene opciones para la selección de letras, números, y palabras comúnmente utilizadas para su posterior traducción al lenguaje de señas ecuatoriana, que el asistente muestra al usuario para su aprendizaje. El proyecto se desarrolló con software libre que disponen de librerías para visión artificial, obtención y lectura de código QR, entre otras necesidades del proyecto.

PALABRAS CLAVE:

- **EDUCACIÓN BÁSICA**
- **LENGUAJE DE SEÑAS**
- **INTERPRETE HUMANOIDE**
- **VISIÓN ARTIFICIAL**
- **CÓDIGO DE RESPUESTA RÁPIDA**

ABSTRACT

This project deals with the investigation of new methods of data acquisition through artificial vision, particularly using rapid response code (QR) that allows the implementation of a humanoid interpreter, which facilitates the teaching-learning of Ecuadorian sign language aimed at girls and children with hearing impairment who are starting their learning, to introduce a new teaching tool that serves as support for existing methods, allowing to improve learning and social inclusion. The artificial vision system identifies numbers from 1 to 9, the letters of the alphabet and a list of 100 words commonly used in the communication that is within a specific list, for which you have a set of cards that serve as material didactic, which will have printed their respective QR code, arranged within the area of vision of the robot. The control system through a mobile application, has options for the selection of letters, numbers, and words commonly used for subsequent translation into Ecuadorian sign language, which the assistant shows the user for their learning. The project was developed with free software that has libraries for artificial vision, obtaining and reading QR code, among other needs of the project.

KEYWORDS:

- **BASIC EDUCATION**
- **SIGN LANGUAGE**
- **HUMANOID INTERPRETE**
- **ARTIFICIAL VISION**
- **QR QUICK RESPONSE CODE**

CAPÍTULO I

FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1. Educación para niños con discapacidades en el Ecuador

1.1.1. Definición de discapacidad.

La discapacidad está estrechamente relacionada con la salud, debido a la deficiencia que esta presenta en su función corporal evitándole así a quien la padece, ciertas limitaciones al realizar actividades. De tal manera un individuo independientemente de su condición de salud puede experimentar la discapacidad como un fenómeno intrincado, el cual se ve reflejado en su restricción para desarrollar actividades de acuerdo a su edad, impidiéndoles vivir de una manera independiente, cabe recalcar que el proceso de discapacidad se puede manifestar por genética, ya sea esta congénita o adquirida. Por esta razón, la "discapacidad" es un fenómeno que debe considerarse más allá de cualquier condición de salud biomédica existente. (Schuntermann, 2005)

1.1.2. Educación Especial.

La educación especial sirve como base educativa para una posible inserción de las personas con discapacidad a un sistema regular inclusivo de educación; equilibrando oportunidades para el correcto desarrollo, respondiendo de una manera óptima a las necesidades que se presenten, consolidando un acceso al aprendizaje igualitario ya sea en una institución de

educación regular o una institución especial donde se vea reflejado la protección y la educación de niños con discapacidades específicas. (Nilholm, 2006)

Los principales objetivos de la educación especial son:

- Orientar al estudiante al desarrollo integral de la personalidad mediante una excepcional, con previo conocimiento de sus capacidades.
- Facilitar la integración del estudiante a la vida social y promover su participación en ella.
- Ofrecer al estudiante un adecuado proceso de formación y rehabilitación. Lograr que los estudiantes lleguen a ser autosuficientes y alcancen su mayor grado de desarrollo.

1.1.3. Educación inclusiva en el Ecuador

Según el Ministerio de Educación, Ecuador al ser un país pionero en ofrecer políticas para el amparo de personas con discapacidad tiene por objetivo la inclusión de brindar respuestas apropiadas al amplio espectro de necesidades de aprendizaje tanto en entornos formales como no formales de la educación, viabilizando el compromiso que tiene el Estado ecuatoriano con esta población para reflejar los derechos que ellos poseen anteponiendo, su cuidado y atención mediante óptimos métodos de enseñanza.

El derecho a una educación inclusiva se encuentra contemplado en el marco legal ecuatoriano, el Estado como tal, está obligado asegurar su cumplimiento y crear los mecanismos necesarios para satisfacer las diversas necesidades de los estudiantes. Las personas con

discapacidad o con capacidades especiales, pueden ejercer sus derechos y exigir su cumplimiento, por lo que el estado mediante las instituciones correspondientes debe garantizar el cumplimiento de la normativa. (EDUCACION, 2018)

1.2. Lenguaje de señas ecuatoriano

El lenguaje de señas ecuatoriano al igual que los otros países, cuenta con su propia gramática y vocabulario, esto ayuda al desenvolvimiento práctico y efectivo de las personas con discapacidad en su círculo social, se puede observar en la figura 1 tanto los números como las letras de dicho lenguaje el cual se utilizó para la realización del proyecto de investigación



Figura 1. Lenguaje de señas ecuatoriano

Fuente: (Sordos Ecuador, 2017)

1.3. Inteligencia artificial

La Inteligencia Artificial (IA) pertenece a una de las ramas de la informática que tiene por

objetivo la organización y configuración de técnicas que permitan a las máquinas realizar tareas y resolver problemas normalmente reservados para humanos y ciertos animales.

Las tareas de IA muchas veces son muy simples para los humanos, como reconocer y ubicar objetos en una imagen, planificar los movimientos de un robot para atrapar un objeto o conducir un auto. A veces requieren una planificación compleja, por ejemplo, para jugar al ajedrez o caminar. Las tareas más complicadas requieren mucho conocimiento y sentido común. (LeCun, 2015 - 2016)

1.3.1. Aprendizaje y razonamiento Automático

Es una de las condiciones para que un ente artificial pueda ser considerado inteligente. Cualquier ser dotado de inteligencia al no tener esta condición tendrá muchas complicaciones de adaptarse al medio. Actualmente se busca que las máquinas a través de ejemplos sacados del entorno que les rodea, sean capaces de realizar generalizaciones con el objetivo, que el ente artificial al realizar dichas actividades programadas sea competente para captar y reproducir de una manera eventual dicha tarea por cuenta propia.

Por eso se denomina a este tipo de inteligencia como una disciplina de aplicación, en donde las ideas son plasmadas y pueden ser verificadas mediante la experimentación. Por ejemplo, un niño para que pueda aprender desde edad muy temprana que una ortiga pica, primero tiene que experimentarlo varias veces, es un ejemplo de razonamiento automático en inteligencia artificial. (García Serrano, 2012)

1.3.2. Procesamiento de Lenguaje Natural

El procesamiento del lenguaje natural, en la inteligencia artificial, el cual intenta crear comunicación mediante algoritmos con la finalidad que el computador entienda palabras utilizadas en una conversación de alto nivel mediante análisis de los patrones del lenguaje, abstrayendo datos y comprendiendo el mensaje para lograr transmitirlos. Con el único objetivo de obtener una práctica comprensión por parte de un ente artificial para la realización de distintas tareas, logrando así un dialogo interactivo en donde intervengan el lenguaje y el entendimiento.

Para la recuperación de información, estos utilizan métodos basados en distribución a los términos del documento para tener una idea de la relevancia con respecto a la consulta. Primero se necesita que el sistema entienda la consulta por medio de algoritmos y la compare. Un problema importante al emplear este método es la gran diversidad del lenguaje, ya que el mismo concepto se puede operar y entender en varias instancias. (Martínez Méndez, 2004)

1.3.3. Redes Neuronales Artificiales

Las Redes Neuronales Artificiales (RNA) son aquellos sistemas que actúan de una manera recíproca enviando alguna información concreta entre sí, es importante recalcar que estas redes artificiales tienen como principal objeto resolver problemas mediante una actuación semejante al cerebro de una manera impredecible. Estas redes neuronales al establecer un comportamiento similar a las neuronas biológicas que actúan en el cerebro humano asimilan las experiencias y acorde a esto actúan en eventos futuros.

La característica más relevante de estos sistemas es la capacidad que tienen para desarrollar un aprendizaje autónomo esto quiere decir que partiendo de un dato pueden amplificar el mismo con su particular estructura y naturaleza, donde el conocimiento parte de un número de muestras. Además, las redes neuronales en la actualidad a superado por mucho a la estadística tradicional. (Serrano Cinca & Del Brío, 1995)

1.4. Visión artificial

La visión artificial está dentro de lo que es Inteligencia Artificial, que tiene la capacidad por medio de una programación en el computador, lograr exaltar características relevantes de un objeto capturado en una imagen. Esta disciplina tiene como fin el intensivo análisis de imágenes el cual otorgue como producto información básica que pueda ser digerida por una máquina. La visión artificial es aplicable en gran parte de las industrias en la actualidad debido a que puede detectar fallos en el proceso de las piezas y en las misma, logrando el control de calidad (Amaya-Zapata, Pulgarín-Velásquez, & Torres-Pardo, 2016)

En las industrias es aplicable para un óptimo control de calidad, porque estos procesan imágenes en tiempo real, y pueden detectar errores en las piezas ya procesadas. Cabe recalcar que estos sistemas de visión artificial son oportunos a la hora de resolver dificultades, otorgando un mayor control en la realización de tareas repetitivas, donde el ser humano tiende a distraerse y a generar errores. Por esta razón, han optado por implementar la visión artificial en sus procesos, estableciéndose como un instrumento de ayuda para las grandes industrias. (García Serrano, 2012)

1.4.1. Componentes de visión artificial

En la figura 2 se aprecian los componentes de un sistema de visión artificial:

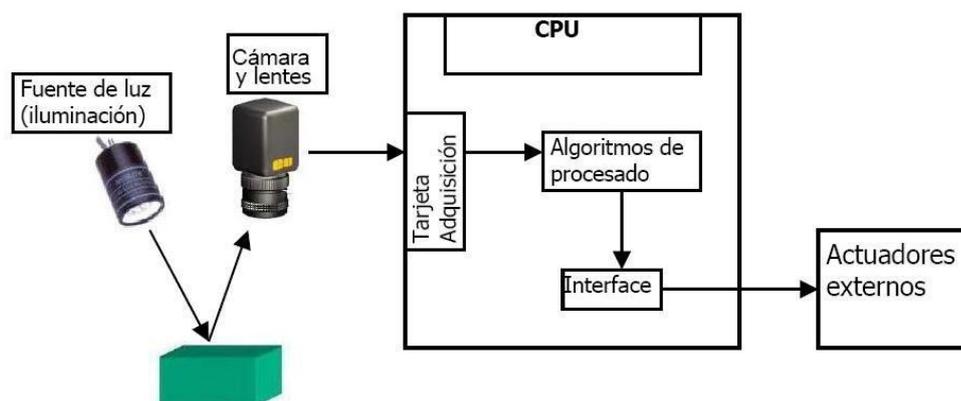


Figura 2. Componentes de un sistema de visión artificial

Fuente: (Informática y Sistemas, 2016)

Para adquirir los componentes para implementar un sistema de visión artificial, se debe tener en cuenta las especificaciones del sistema, y con estos datos, buscarlos en el mercado actual, ya que se disponen de varios modelos. (Pérez Grassi & Puente León, 2006)

La efectividad de la visión artificial recae en sus componentes, por lo cual las empresas productoras han sentido la necesidad de ofrecer en el mercado mayores componentes especializados otorgando diversas opciones, en donde entre los protagonistas principales de esta visión artificial se encuentran la iluminación, los lentes, el sensor de imagen, el procesador de visión y las comunicaciones, los mismos que dependerán de las técnicas y métodos de uso para lograr un producto satisfactorio. Por lo cual ha sido menester realizar una investigación con un enfoque metodológico en donde se pueda apreciar los componentes más óptimos para el desarrollo de la presente investigación.

a. Adquisición

Esta tarea la realiza la cámara, por imágenes, la imagen es enviada a una tarjeta de adquisición de datos y lo procesa mediante algoritmos, y los devuelve para la visualización de una acción al usuario. (Alegre Gutiérrez, Pajares Martinsanz, & De la Escalera Hueso, 2016)

b. Procesamiento

Es aquel punto del proceso, donde la imagen ya capturada pasa a ser introducida en la memoria, permitiéndole al procesador la aplicación de varias técnicas para la extracción de características importantes, necesarias y requeridas por el usuario para su interpretación. (Alegre Gutiérrez, Pajares Martinsanz, & De la Escalera Hueso, 2016)

c. Actuadores

Son quienes se encargan de realizar el procedimiento mecánico de un sistema, para cumplir su objetivo es necesario unir los resultados que son entregados a robots de los sistemas de visión artificial resultados, así como cintas transportadoras. (Alegre Gutiérrez, Pajares Martinsanz, & De la Escalera Hueso, 2016)

d. Iluminación

Es la parte más importante del sistema, debido a que permite resaltar las características

más relevantes de los objetos a analizar obteniendo una visión clara y concisa por parte de la cámara el uso inadecuado por parte de la iluminación puede provocar la pérdida de información y por ende no se logrará la productividad que se desea obtener. (Alegre Gutiérrez, Pajares Martinsanz, & De la Escalera Hueso, 2016)

1.4.2. Tipos de Iluminación

Hay distintos tipos de iluminación, en los cuales se destacan:

a. Luz frontal

Se obtiene una luz frontal (figura 3) al momento en el que la cámara se encuentra en dirección al objeto en un mismo sentido con la luz, recibiendo la cámara exclusivamente la luz reflejada del objeto, suavizando las texturas y reduciendo sombras e imperfecciones. Este tipo de luz es utilizado para espacios con pocos reflejos y en donde se necesite la detección de marcas de diferentes colores, caracteres. (Informática y Sistemas, 2016)

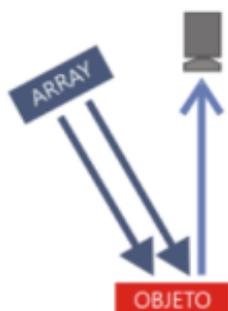


Figura 3. Luz frontal

Fuente: (Informática y Sistemas, 2016)

b. Luz lateral

Este tipo de iluminación (figura 4) la cámara se direcciona a la posición en la que se encuentra el objeto mientras que el sentido de la luz se dirige lateralmente al mismo. El sentido de la luz tendrá postura según el grado de inclinación del elemento emisor de luz con el fin de poder captar los relieves y resaltar ya sea resaltar bordes, rayas y fisuras en una dirección determinada. (Pérez Grassi & Puente León, 2006)



Figura 4. Luz Lateral

Fuente: (Informática y Sistemas, 2016)

c. Iluminación por campo oscuro

En este tipo de iluminación es importante la luz obtenida de manera lateral (figura 5), la cual se consigue mediante un anillo que se encuentra en varias direcciones, el mismo ayuda a la determinación de incrustaciones y códigos alfanuméricos con poco contraste en metal o sobre metal además de actuar oportunamente en el control de grabados tipo láser o troquel. (Informática y Sistemas, 2016)



Figura 5. Iluminación por Campo Oscuro

Fuente: (Informática y Sistemas, 2016)

d. Iluminación por contraste (Backlight)

Es aquella luz que fluye desde la parte posterior del objeto (figura 6) quedando entre la fuente de iluminación y la cámara de una manera homogénea. De esta manera le permite a la cámara establecer el contorno del objeto. Este tipo de iluminación es perfecto para materiales translúcidos o transparentes para detectar manchas, rayas, grietas. (Informática y Sistemas, 2016)



Figura 6. Iluminación por Contraste

Fuente: (Informática y Sistemas, 2016)

e. Iluminación Axial difusa.

Este tipo de iluminación (figura 7) se logra mediante un espejo semitransparente, en donde la luz se refleja a 90° lo cual provoca una desviación en los haces de luz en sentido al eje de la cámara, con esto es posible divisar una luz difusa homogénea. Esta iluminación es importante para la valoración de superficies planas reflectantes, como PCB, además de la inspección de impresión sobre aluminio o cavidades profundas. (Informática y Sistemas, 2016)



Figura 7. Iluminación Axial difusa

Fuente: (Informática y Sistemas, 2016)

f. Iluminación difusa

Denominada también iluminación de día nublado (figura 8) por no producir ningún tipo de sombra al objeto. Es aquella iluminación en donde es pertinente que al momento de emitir la luz dentro de una cúpula esférica de como efecto una luz difusa que abarque varias direcciones, y con esto ayude a la eliminación sombras y reflejos, suavizando texturas y minimizando la influencia de rayas y relieves. (Informática y Sistemas, 2016)

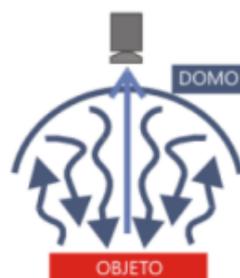


Figura 8. Iluminación difusa

Fuente: (Informática y Sistemas, 2016)

g. Iluminación por laser

Denominada también como luz estructurada (Figura 9) es aquella iluminación con la cual se puede lograr una visualización en tercera dimensión de un objeto, es decir tiene la

capacidad de medir la profundidad de los objetos mediante la distorsión de la luz. Útil para establecer el trazado por el que se debe ajustar un proceso, por ejemplo, en aplicaciones de corte. Una de las ventajas de este tipo de iluminación es que no influye en la iluminación externa. (Informática y Sistemas, 2016)



Figura 9. Iluminación por laser

Fuente: (Informática y Sistemas, 2016)

1.4.3. Fuentes de Iluminación

Teniendo en cuenta los métodos de iluminación anteriormente expuestos, es pertinente también destacar el papel que cumple se los tipos de fuente de iluminación y por lo tanto su ámbito de aplicación. Para lo cual se destacará sus características las mismas que están orientadas en no afectar el lente de la cámara y la calidad de la imagen capturada. Existen diferentes fuentes de iluminación, entre los que destacan:

a. Fluorescentes de alta frecuencia

Este tipo de luz está representada por un tubo fluorescente de vidrio (figura 10). El tubo contiene además una pequeña cantidad de vapor de mercurio, que emite luz visible al recibir una radiación ultravioleta, además se caracteriza, pero su precio económico y adaptabilidad tanto en forma como en color los hacen.



Figura 10. Luz Fluorescente

Fuente: (Informática y Sistemas, 2016)

b. Halógena

Este tipo de iluminación (figura 11) es provocado por un tipo de lámpara incandescente que presenta gran luminosidad, pero desprende calor al momento de otorgar la luz, y por ende su precio es alto. Esta lámpara tiene la capacidad de sustituir gas inerte por un gas halógeno, encontrando un equilibrio químico que, además, le permite mejorar y aumentar su vida útil. (Alegre Gutiérrez, Pajares Martinsanz, & De la Escalera Hueso, 2016)



Figura 11. Luz Halógena

Fuente: (Informática y Sistemas, 2016)

c. Xenón

La luz Xenón (figura 12) es aquel tubo lleno de gas denominado con el mismo nombre, que emite mayor luminosidad, al momento de estar en contacto con una descarga eléctrica, aunque su valor s mayor mantiene los mismos inconvenientes que la luz halógena.



Figura 12. Luz Xenón

Fuente: (Informática y Sistemas, 2016)

d. Led

La iluminación de tipo LED (figura 13), es un cuerpo semiconductor sólido de gran resistencia, admite multitud de configuraciones y aun al estar en contacto con corriente eléctrica con baja energía es capaz de transmitir luz con alto rendimiento. Este tipo de luces se encuentran disponibles en multitud de colores.



Figura 13. Luz LED

Fuente: (Informática y Sistemas, 2016)

e. Láser

La iluminación mediante láser o luz estructurada (figura 14), provoca que un rayo de luz, siga la misma dirección que el rayo incidente provocando mayor potencia en la luz. Este tipo de luz se utiliza normalmente para determinar la tercera dimensión de un objeto permitiendo la mayor visualización del ángulo y así poder interpretar con mayor facilidad la profundidad de los objetos a medir.

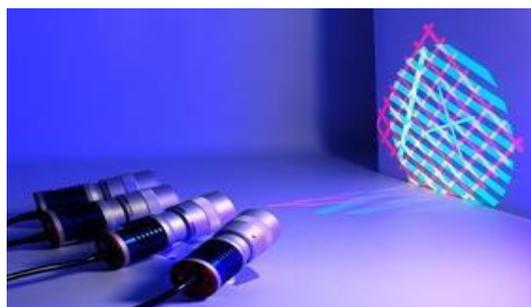


Figura 14. Luz Láser

Fuente: (Informática y Sistemas, 2016)

f. Fibra Óptica

La iluminación por fibra óptica, se denomina a la de luz más intensa de todos los tipos de iluminación que se utilizan en visión artificial ver (figura 15). La idea básica es conducir mediante pulsos de luz, datos a una gran distancia, con velocidades similares a las de radio o cable. Cabe recalcar que el haz de fibras ópticas que posee esta fibra y los datos que esta transmite termina en un adaptador específico para cada tipo de aplicación (Alegre Gutiérrez, Pajares Martinsanz, & De la Escalera Hueso, 2016).



Figura 15. Fibra Óptica

Fuente: (Informática y Sistemas, 2016)

1.5. Plataformas libres para desarrollo de visión artificial

La visión constituye uno de los sentidos más importante de los seres humanos, ésta es

empleada para obtener información visual del mundo físico, colores, formas etc., aproximadamente el 70% de las tareas que el cerebro realiza requiere de la información visual captada por los ojos. Actualmente las investigaciones tecnológicas realizadas sobre el sentido de la visión han permitido que se fabriquen dispositivos que simulan el comportamiento del ojo humano (figura 16), permitiendo obtener información visual en tiempo real del entorno físico, pero todavía no han logrado replicar exactamente la funcionalidad de este sentido de visión. (Pérez Grassi & Puente León, 2006)

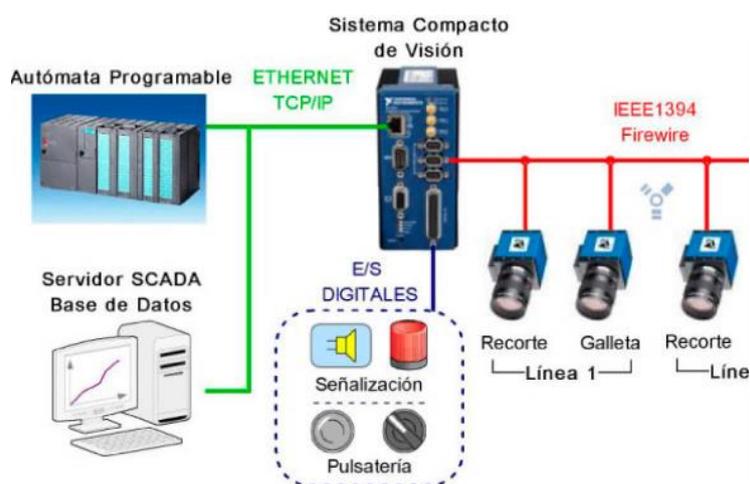


Figura 16. Visión artificial

Fuente: (Pérez Grassi & Puente León, 2006)

1.5.1. Aplicaciones de los sistemas de visión artificial

Las aplicaciones según (Iglesias, Martínez, & Taboada, 2018) en el campo de la visión artificial son, múltiples entre las que se encuentran:

- **Automoción:** Tienen utilidades en la inspección de la fabricación y en el ensamblaje de todas y cada una de las piezas.
- **Alimentación:** Especialmente en el control de calidad de cada tipo de producto alimentario, ya que se controla cada una de las fases del producto.

- **Envases y embalajes:** Permite controlar la presencia o ausencia de marcadores.
- **Electrónica:** Permite controlar la correcta soldadura y ensamblaje de las piezas.

(Iglesias, Martínez, & Taboada, 2018)

1.5.2. Lectura de código QR

El Quick Response o más conocido como código QR (respuesta rápida) es un sistema para almacenar información digital, de forma rápida, y para su respectiva visualización. Según (Meritxell, Ferrés Font, Cornellà Canals, & Codina Refgàs, 2012) manifiestan que para leer un código QR es suficiente con un dispositivo que tenga una cámara y un pequeño software el que funcionará como lector-traductor del código, es suficiente tres pequeños cuadrados en tres de las esquinas de los códigos como se aprecia en la figura 17 para poder interpretarlos.

Cabe destacar que su almacenamiento de información acoge los datos específicos de cada código.



Figura 17. Código QR

Fuente: (Tellado, 2012)

1.5.3. Librerías para visión artificial

- **Torch3vision:** presenta un procesamiento básico de imágenes y algoritmos con la

capacidad de extraer características específicas de cada objeto, así como detección de caras empleando Haar-like features. (Amaya-Zapata, Pulgarín-Velásquez, & Torres-Pardo, 2016)

- **VLX:** es aquel conjunto de librerías que ofrece una oportuna funcionalidad incorporando el mayor número de algoritmos habituales en una visión artificial. (Amaya-Zapata, Pulgarín-Velásquez, & Torres-Pardo, 2016)
- **RAVL:** Proporciona los elementos básicos de una librería de visión artificial, incorporando elementos diferenciadores tales como soporte para herramientas de audio o interfaces de usuario basadas en GTK (GIMP Tool Kit). (Sanmartín Piquer & Sanz Kirbis, 2016)
- **OpenCV:** según (Arévalo, González, & Ambrosio, 2016) este tipo de librería utiliza más de 500 algoritmos para el óptimo procesamiento de imágenes, descripciones geométricas, segmentación, seguimiento, permitiendo emplear las capacidades de computación de las GPU, es decir es más completa librería de visión artificial.

1.6. Lenguaje de programación

Lenguaje de programación, es un programa diseñado para expresar secuencias que pueden ser llevadas a cabo por máquinas como las computadoras.

Esto se logra mediante procesos lógicos, creando programas que ayuden a controlar el comportamiento físico y lógico de una máquina mediante la composición por símbolos, patrones ya sean estos sintácticos o semánticos constituyendo una fuente, que al expresarse mediante algoritmos da como resultado una comunicación.

Cabe recalcar la existencia de una confusión al momento de la utilización de estos términos 'lenguaje de programación' y 'lenguaje informático'.

El lenguaje informático abarca a los denominados lenguajes de programación, entre otros, un ejemplo claro de esto es el HTML asignado así al lenguaje para el marcado de páginas web, el cual debido a su naturaleza no se podría establecer como un lenguaje de programación sino como un conjunto de instrucciones que permiten diseñar el contenido y el texto de los documentos. (Sánchez Rodríguez & Cano Castañeda, 2014).

1.6.1. Tipos

El lenguaje de programación de acuerdo a su proximidad con la arquitectura hardware es el lenguaje de bajo nivel, y el lenguaje de alto nivel aquella que se encuentra cercanos a los programadores.

a. Lenguajes de bajo nivel

Este lenguaje de programación de bajo nivel es aquel que está programado para un hardware exclusivo es decir es un dependiente total de la máquina, es decir que el programa que se realiza con este tipo de lenguajes no se pueden ser trasladados o utilizados en otras máquinas. En su estado de dependencia este lenguaje tiene la capacidad de extraer el mayor beneficio posible de la máquina para la cual fue diseñado.

Dentro de este grupo se encuentran:

- El lenguaje máquina: este lenguaje consiste en 0's y 1's, ordena la información recibida,

y lo traduce de manera entendible para el hardware de la máquina, para su posterior procesamiento y visualización del usuario.

- El lenguaje ensamblador: es un derivado del lenguaje máquina y está formado por abreviaturas de letras y números. Con la aparición de este lenguaje se crearon los programas traductores para poder pasar los programas escritos en lenguaje ensamblador a lenguaje máquina. (Alvarez, 2006)

b. Lenguajes de alto nivel

Son aquellos que están más cercanos al lenguaje natural que al lenguaje máquina. Por lo tanto, es un lenguaje que puede ser utilizado de una manera más universal y están dirigidos a solucionar problemas mediante el uso de EDD (Estructuras Dinámicas de Datos), por lo que pueden valerse en distintos sistemas. La estructura que posee es tipo de lenguaje que permite variar su tamaño durante la ejecución del programa, además admite la creación e innovación de estructuras de datos que le permitan adaptarse a las necesidades reales de cada programa.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto los datos utilizados para la programación se manifiestan de dos maneras como lenguaje de propósito general el cual abarca cualquier tipo de aplicación y el otro se establece como un propósito específico utilizado para trabajos científicos como FORTRAN. (Cobo, 2014)

c. Lenguajes de Medio nivel

Es aquel término que no siempre tiene una aceptación por todos. Se encuentra en un

punto medio entre los dos anteriores lenguajes. A pesar de su poca aceptación es necesario para ciertas aplicaciones como la creación de sistemas operativos, donde consiente un manejo abstracto, sin dejar a un lado su eficiencia. A este lenguaje se lo puede categorizar como tipo C siendo muy útil para acceder a los registros del sistema, trabajar con direcciones de memoria. Este tipo de lenguaje es capaz de operar todas las carteristas de lenguajes de bajo nivel y a la vez realizar operaciones de alto nivel. (Cobo, 2014)

1.7. Robot interactivo aplicado a la educación

La Robótica Educativa, es la disciplina que busca potencializar el uso de robots o kits de robótica en las aulas de clase, facilitando al estudiante desde temprana edad obtener una enseñanza interdisciplinaria, que ayuda a su desarrollo de una manera positiva y fomenta en los alumnos nuevas técnicas y habilidades como el manejo de mecanismos y la electrónica, tiene por objeto lograr un pensamiento lógico y programático de robots, estimulando en los estudiantes su creatividad, permitiendo adaptarse con el funcionamiento de varios objetos que se encuentran a su alrededor. (Lombana, 2015)

1.7.1. Robots Actualmente implementados en la educación.

a. Teebot

En la figura 18 se aprecia a Teebot, el primer robot ecuatoriano, que permite tanto a niños como a niñas aprender conceptos de programación, electrónica, tecnología y ciencia, con el trabajo en equipo y el uso de su creatividad. (El Universo, 2015)



Figura 18. Teebot

Fuente: (El Universo, 2015)

b. NAO

Es uno de los humanoides más avanzados del mundo (figura 19), está especialmente adecuado para la enseñanza, debido a su gran versatilidad en la forma de programarlo se lo considera como una herramienta pedagógica idónea tanto en educación secundaria como en universidades. (Robotrónica, 2003)



Figura 19. NAO

Fuente: (Robotrónica, 2003)

c. Zowi

Compuesto por un Arduino como tarjeta principal, es un robot totalmente programable con un lenguaje de bloques tipo Scratch que tiene como fin enseñar a los niños que el divertido uso de la tecnología, este robot ha obtenido una gran acogida en varios centros educativos que se ven reflejados en los alumnos, los cuales se sienten atraídos por la robótica, como se muestra en la figura 20. (Penalva, 2016)



Figura 20. Zowi

Fuente: (Penalva, 2016)

d. Rapiro

Es un robot tipo humanoide (figura 21), emplea una Raspberry Pi como tarjeta de control, una cámara y doce servos los cuales permiten tener movimientos programados muy precisos, este robot posibilita el acceso a un calendario o notifica el estado del tiempo. Su diseño es agradable y atractivo principalmente para los estudiantes más pequeños y por último se manifiesta que este robot puede hacer café. (Pastor, 2013)



Figura 21. Rapiro

Fuente: (Pastor, 2013)

1.7.2 Beneficios de la robótica en la educación de los niños y niñas.

Entre los muchos beneficios en la educación para los niños y niñas, están:

- Se involucran activamente en su propio proceso de aprendizaje como en la figura 22 se puede apreciar, desarrollando la intuición científica y de ingeniería.
- Potencia habilidades de investigación, resolución de problemas, dirige la atención en el razonamiento lógico, analítico, y pensamiento articulista.
- Capacita a los niños y niñas para desenvolverse en el mundo competitivo, especialmente en las ciencias tecnológicas, que son las de mayor demanda en la actualidad.

(Estrada, 2014)



Figura 22. Niños interactuando con robot NAO

Fuente: (Robotrónica, 2018)

1.8. Sistemas de comunicación para transmisión de datos

La comunicación inalámbrica es aquella que utiliza la modulación de ondas de baja potencia como un medio para transmitir datos entre el emisor y el receptor por un conductor de comunicación, que actúan también como un medio de almacenamiento, a continuación, se menciona algunas tecnologías de este tipo.

- **Bluetooth:** se denomina a una tecnología que ayuda a la comunicación de un dispositivo con otro, como se muestra en la (figura 23) con el fin de servir como una vía para simplificar una sincronización hasta de 10 metros de distancia con una frecuencia inalámbrica de 2,4 Ghz, siendo la más usada para la sincronización de datos punto a punto, con diferentes dispositivos como celulares, tablets, etc, de una manera automática. (Bellido Outeriño, De La Cruz Fernández, Torres Roldán, & Gistas Peyrona, 2004)



Figura 23. Sistema de comunicación Bluetooth

Fuente: (Bellido Outeriño, De La Cruz Fernández, Torres Roldán, & Gistas Peyrona, 2004)

- **Wifi:** una tecnología de comunicación inalámbrica que permite la transmisión de datos

es diez veces más rápida que el Bluetooth y tiene un alcance de 100 metros en espacios totalmente cerrados, asegurando así el correcto enlace sin la necesidad de utilizar cables o vías físicas visibles para la transmisión. En la actualidad casi todos los dispositivos utilizan este tipo de tecnología, como teléfonos inteligentes, tablets, pc (figura 24) utilizan esta tecnología. (Bellido Outeriño, De La Cruz Fernández, Torres Roldán, & Gistas Peyrona, 2004)



Figura 24. Sistema de comunicación WIFI

Fuente: (Bellido Outeriño, De La Cruz Fernández, Torres Roldán, & Gistas Peyrona, 2004)

- **ZigBee.** Es una tecnología inalámbrica caracterizada por ser sencilla y barata que opera a 2,4 GHZ y con esto logra conectarse y comunicarse con los demás dispositivos, utilizando el mínimo consumo de datos y de igual manera un bajo consumo de energía. (figura 25). (Prieto Blázquez, 2017)

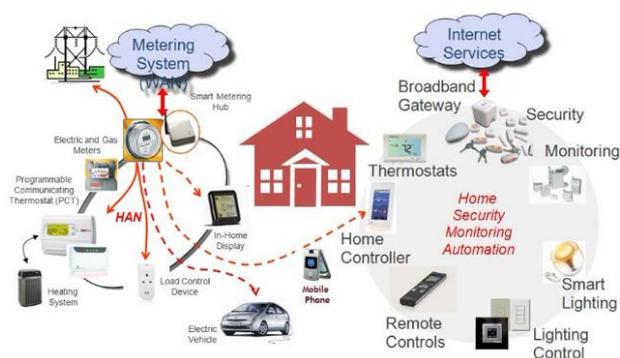


Figura 25. Sistema de comunicación Zigbee

Fuente: (Prieto Blázquez, 2017)

CAPÍTULO II

ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS

2.1. Introducción

El objetivo de este capítulo es analizar y describir los componentes de los subsistemas del Intérprete Humanoide, de acuerdo al diseño concurrente (Ulrich & Eppinger, 2013), partiendo de la planeación y necesidades, sigue el desarrollo del concepto (Figura 26), el cual es la selección de alternativas y especificación de componentes que ofrezcan la correcta funcionalidad del producto final.

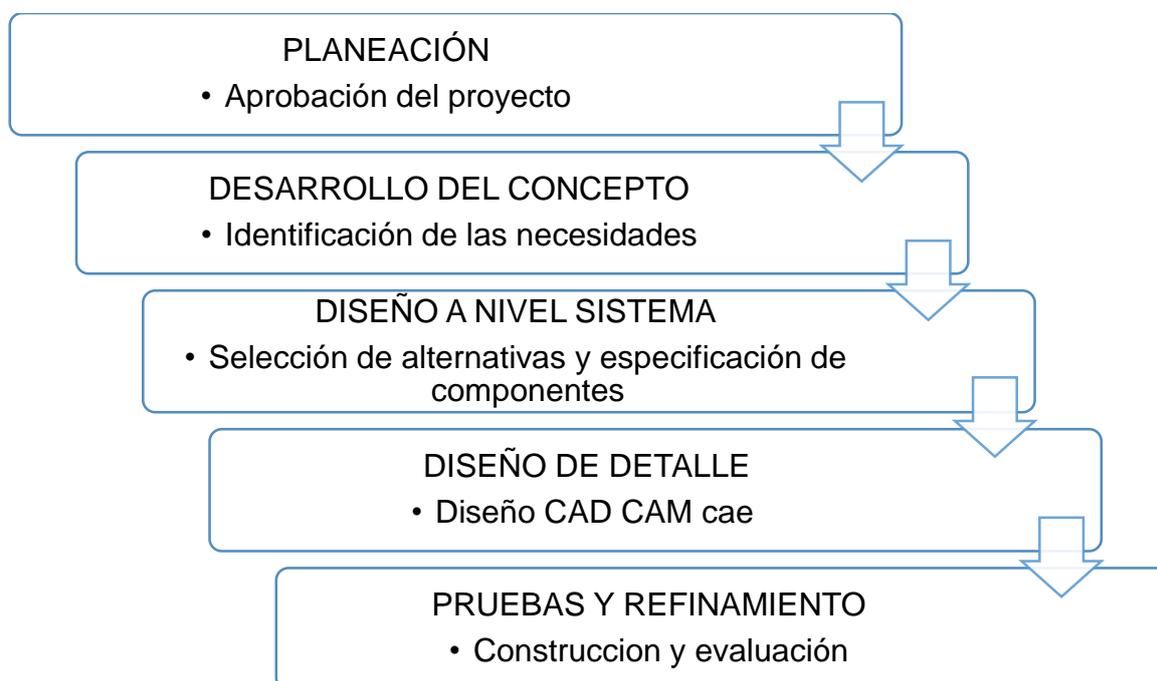


Figura 26. Proceso de Diseño

Fuente: (Ulrich & Eppinger, 2013)

La idea central del proyecto es la investigación de nuevos métodos de adquisición de datos mediante visión artificial, particularmente utilizando código de respuesta rápida (QR) que

permita implementar un intérprete humanoide, que facilite la enseñanza-aprendizaje de lenguaje de señas ecuatoriana orientado a niñas y niños con discapacidad auditiva que están iniciando su aprendizaje, para introducir una nueva herramienta didáctica que sirva de apoyo a los métodos de enseñanza existentes, permitiendo el mejoramiento del aprendizaje y la inclusión social.

2.2. Subsistemas y componentes del proyecto

El proyecto se compone de tres subsistemas (Figura 27): sistema de visión artificial, sistema de control, y el intérprete humanoide; con dos modos de funcionamiento: autónomo (visión artificial), y manual (aplicación móvil), el cual se compone de los elementos detallados en la Tabla 1.

El sistema de visión artificial identificará números de 1 hasta el 9, las letras del alfabeto y una lista de 100 palabras (Anexo A) comúnmente utilizadas en la comunicación que se encontrarán dentro de una lista específica, para ello se tendrá un juego de tarjetas que sirvan de material didáctico, las mismas que tendrán impreso su respectivo código QR, dispuestas dentro del área de visión del robot.

El intérprete humanoide cumplirá con la función de asistente de enseñanza y como juguete interactivo, primeramente, reconocerá el número, letra o palabra mediante el sistema de visión artificial y traducirá a lenguaje de señas ecuatoriana con movimiento de sus manos para contribuir al aprendizaje en niñas y niños con discapacidad auditiva, además el usuario podrá controlar el movimiento y su desplazamiento con la aplicación del robot móvil.

El intérprete humanoide dispondrá de las siguientes partes: cabeza, tronco, extremidades superiores e inferiores y se basará en diferentes robots de código abierto, modificándolo a las necesidades del presente proyecto y de esta manera obtener un nuevo diseño, enfocándose en las extremidades superiores ya que estas deberán realizar movimientos similares a los brazos de una persona y de esta manera garantizar la eficiencia en la enseñanza-aprendizaje.

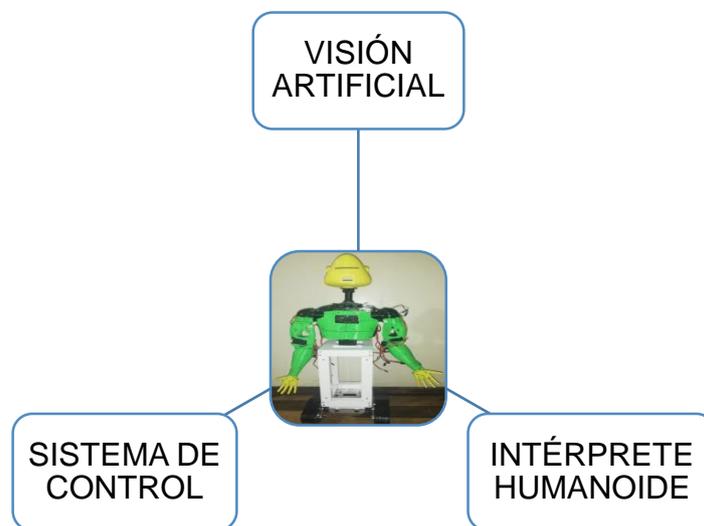


Figura 27. Sistemas del Intérprete Humanoide

Tabla 1.

Componentes del proyecto

Sistema	Componente
Sistema de visión artificial	<ul style="list-style-type: none"> • Cámara • Lenguaje de programación
Sistema de control	<ul style="list-style-type: none"> • Tarjeta de control • Aplicación móvil (SO)
Interprete humanoide	<ul style="list-style-type: none"> • Plataforma móvil • Motores • Driver para motores • Módulo transmisión de datos

2.3. Necesidades y especificaciones técnicas

Las necesidades y especificaciones son los datos y peticiones dados por el usuario para satisfacer las necesidades del mismo traducidos a un lenguaje técnico.

Se considera cada una de las necesidades y requerimientos del usuario en el diseño y fabricación para obtener un producto que satisfaga al cliente y que cumpla con cada uno de sus parámetros obteniendo un resultado satisfactorio. Se considera la lista en orden de la prioridad del requerimiento:

- Costo de implementación sea económica
- Que llame la atención de los niños
- El tamaño sea amigable
- De manipulación fácil
- Movimientos del robot fácilmente imitables
- Que se pueda transportar fácilmente
- Que sea robusta
- De instalación sencilla
- Batería duradera y recargable
- Manipulación inalámbrica

2.3.1. Especificaciones técnicas

De acuerdo con las necesidades y requerimiento establecidos por el usuario, se obtiene las características técnicas de los componentes, la que se detalla en la Tabla 2.

Tabla 2.*Especificaciones técnicas del proyecto*

Núm.	Métrica	Unidad	Valor
1	Peso	Kg	<15
2	Memoria RAM	GB	> = 1
3	Portable	Lista	Todos
4	Número de E/S de la tarjeta de control		> 20
5	Resolución de la cámara	Megapíxeles	>5
6	Campo de visión horizontal y vertical de la cámara	grados	> 40
7	Licencia del software	Libre GLP	
8	Alcance inalámbrico	m	> 2
9	Altura del Robot	cm	20 - 70
10	Grados de libertad		12
11	Voltaje de trabajo de motores	V	3 - 12
12	Movilidad total del robot	Lista	todos

2.3.2. Método de evaluación

Para la implementación del proyecto se realiza un análisis y selección de los componentes que se requiere en cada uno de los sistemas, la selección de la mejor alternativa se realiza acorde a un proceso de calificación de parámetros mediante escalas de ponderación de acuerdo al nivel de satisfacción del componente (Tabla 3).

Tabla 3.*Escala de calificación*

Ponderación	Porcentaje (%)	Calificación
1	<20	Malo
2	20-40	Regular
3	40-60	Bueno
4	60-80	Muy bueno
5	80-100	Excelente

2.4. Sistema de control

Este proyecto, tiene dos tipos de sistemas de control: control manual y automático. El

control manual se lo realiza mediante una aplicación en el celular y el automático mediante el sistema de visión artificial.

2.4.1. Tarjeta de control

Esta tarjeta va a controlar mediante programación los dispositivos digitales y analógicos como sensores, motores, cámara, se analizan tres alternativas de tarjetas de control mayormente utilizadas en el mercado (ver Tabla 4).

- Raspberry Pi 3
- Gigabyte brix
- Orange pi

Tabla 4.

Comparativa de tarjetas de control

			
Descripción	Pequeño ordenador con pines para control	CPU compacto con procesador Intel	Es una computadora de una sola tarjeta de código abierto
Costo	\$75	\$510	\$40
Dimensión	8,6x 5,4x 1,7 cm 78.9 cm ³	3,4 x 11,3 x 12 cm 462.04 cm ³	8,5 x 5,5 x 2,1 cm 98.175 cm ³
Controlador	Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit SoC 1.4GHz	Intel® Core™ Dual Core i3-8130U	Cortex-A7 de 4 núcleos 1.6GH
Pines	40 GPIO	-----	40
Memoria	1GB LPDDR2	DIMM DDR4 slots	512MB RAM Quad Core
Voltaje	5 V DC	110-220 AC	5 V DC

CONTINÚA



Puertos	USB: Cuatro MicroUSB: Uno Ethernet: Uno	2 x USB 3.1 (1 x USB Type-C™) 2 x USB 3.0 Intel Gigabit LAN	3 puertos USB 2.0 y un puerto USB OTG Fast Ethernet 10/100
Peso	98 gramos	1800 gramos	38 gramos
Programación	Scratch, IDLE, Linux	S.O. Windows	IDLE, Linux
Conexión inalámbrica	Módulo Bluetooth 4.1 Módulo de Wi-Fi b/g/n en la banda de 2.4GHz	Dual Band Wi-Fi & Bluetooth 4.2 NGFF M.2 card	NO

a. Selección de la tarjeta de control

Para la selección de la tarjeta de control se tiene las principales consideraciones, que debe tener más de 15 pines de control, una conexión inalámbrica Bluetooth, programación IDLE entre otras que se describe a continuación:

- Número de E/S digitales
- Controlador
- Memoria
- Dimensión
- Programación
- Costo
- Peso
- Conexión inalámbrica

La Tabla 5, muestra la evaluación realizada acorde a los criterios establecidos.

Tabla 5.

Evaluación de alternativas de la tarjeta de control

Criterios	Peso	Alternativa A Raspberry Pi 3		Alternativa B Gigabyte brix		Alternativa C Orange pi	
		Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada
E/S digitales	20%	4	0.8	5	1	4	0.8
Conexión inalámbrica	20%	3	0.6	5	1	1	0.2

CONTINÚA



Controlador	15%	2	0.3	5	0.75	2	0.3
Memoria	15%	3	0.45	4	0.6	2	0.3
Programación	10%	4	0.4	4	0.4	4	0.4
Costo	10%	4	0.4	1	0.1	4	0.4
Dimensión	5%	3	0.15	2	0.1	3	0.15
Peso	5%	3	0.15	2	0.1	3	0.15
Total	100%		3.25		4.05		2.7

De la Tabla 5, se obtiene dos resultados favorables, alternativa A (Raspberry Pi 3) y Alternativa B (Gigabyte brix), con puntajes de 3.25 y 4.05 respectivamente, analizando la Tabla 3 (Escala de calificación), se tiene que 4.05 pertenece a la escala Muy bueno y 3.25 pertenece a la escala Bueno; en conclusión, los dos elementos cumplen con los requisitos para el correcto funcionamiento del robot, para la selección se tiene en cuenta el costo de la tarjeta, siendo así la alternativa A (Raspberry Pi 3) con la que se desarrollara el robot interprete.

b. Características de Raspberry Pi 3

- CPU + GPU: Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit SoC @ 1.4GHz
- RAM: 1GB LPDDR2 SDRAM
- Wi-Fi + Bluetooth: 2.4GHz y 5GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac, Bluetooth 4.2, BLE
- Ethernet: Gigabit Ethernet sobre USB 2.0 (300 Mbps)
- GPIO de 40 pines
- HDMI
- 4 puertos USB 2.0
- Puerto CSI para conectar una cámara.
- Puerto DSI para conectar una pantalla táctil
- Salida de audio estéreo y vídeo compuesto

- Micro-SD
- Power-over-Ethernet (PoE) (Raspberry Pi Foundation, 2019)

2.4.2. Aplicación móvil

La aplicación móvil es el sistema de control manual, la encargada de enviar los datos a la tarjeta para su procesamiento e interpretación mediante el robot. La aplicación dispondrá de un menú con tres opciones para interpretación de lengua de señas ecuatoriana: números, alfabeto y un listado de 100 palabras comúnmente utilizada (Anexo A), en el cual el usuario seleccionará un caracter establecido en las opciones, para que el robot, mediante un procesamiento adecuado en la tarjeta de control, pueda interpretar y enseñar a las niñas y niños.

Además, contará con una opción extra para el desplazamiento del robot ya que las extremidades inferiores son reemplazadas por una plataforma móvil. Para el desarrollo de la aplicación móvil el software seleccionado es el Android Studio ya que cuenta con características necesarias (Figura 28) para la creación de la aplicación móvil.

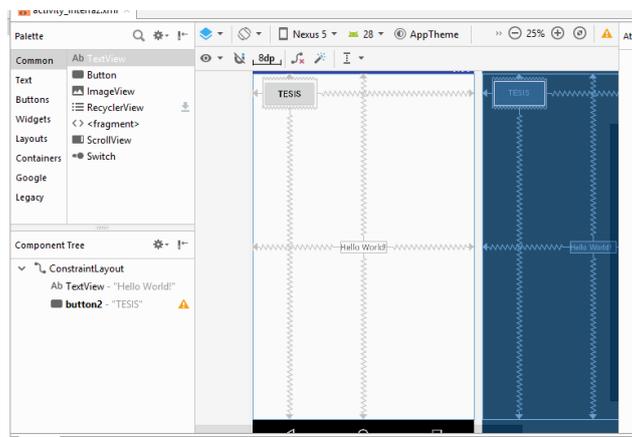


Figura 28. Interfaz Android Studio

Android estudio cuenta con varias herramientas, para crear un conjunto de caracteres que

se dispondrá de diferente manera ya sea en el caso de los números, alfabeto y listado de 100 palabras comúnmente utilizados, como indica (Developers, 2019) una de las herramientas es el ListView, que facilita la configuración de listados para el caso de las 100 palabras, entre otras herramientas de gran utilidad para la creación de la aplicación móvil.

Características:

- Un sistema de compilación basado en Gradle flexible
- Un emulador rápido con varias funciones
- Un entorno unificado en el que puedes realizar desarrollos para todos los dispositivos Android
- Instant Run para aplicar cambios mientras tu app se ejecuta sin la necesidad de compilar un nuevo APK
- Integración de plantillas de código y GitHub para ayudarte a compilar funciones comunes de las apps e importar ejemplos de código
- Gran cantidad de herramientas y frameworks de prueba
- Herramientas Lint para detectar problemas de rendimiento, usabilidad, compatibilidad de versión, etc.
- Compatibilidad con C++ y NDK. (Developers, 2019)

2.4.3. Sistema de transmisión de datos

El sistema de transmisión de datos cumple la función de comunicar la aplicación móvil con el Robot Interpreter mediante una interfaz inalámbrica; como describe (Raspberry Pi

Foundation, 2019), la tarjeta de control Raspberry cuenta con el módulo wifi y bluetooth, lo cual brinda la facilidad de utilizarlo y no es necesario un módulo externo para la transmisión de datos.

Para que el robot pueda interactuar con la mayoría de celulares con sistema operativo Android se elige utilizar el módulo bluetooth, incorporado en la tarjeta Raspberry, que es el sistema de comunicación inalámbrica con la que prácticamente en la actualidad cuentan todos los dispositivos Android.

2.5. Sistema de visión artificial

El sistema de visión artificial cumple la función de traducir la lectura de la cámara a lengua de señas ecuatoriana e interpretarlo por el robot.

El método de la visión artificial es adquirir, procesar, analizar e interpretar los datos recibidos por medio de la cámara, el primer paso de la visión artificial es adquirir una imagen, que en este caso son los códigos QR, el cual después de ser procesado por un ordenador (Raspberry Pi), este se muestra como resultado final en lengua de señas ecuatoriana interpretado por el robot.

2.5.1. Cámara fotográfica

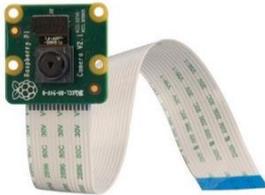
La cámara fotográfica tiene la función de registrar información real del entorno mediante captura de imágenes, dependiendo de la calidad de la imagen a capturar se puede acortar el pre procesamiento y a su vez bajar el coste computacional, de esta manera, si la cámara no obtiene

imágenes de calidad, se requiere de mayor programación y pasos para la eliminación de ruido y factores que afectan al desarrollo del proyecto.

La tarjeta de control tiene su propia cámara la cual es la mejor opción ya que fue diseñada específicamente para la Raspberry Pi3, en la Tabla 6 se indica las características de la cámara.

Tabla 6.

Características de Raspberry Cam

	
Descripción	El módulo cámara de 5 megapíxeles está diseñado específicamente para Raspberry Pi, con un lente de foco fijo
Resolución	a) 640 x 480 pixeles a 30 FPS b) 1280 x 1024 pixeles a 15 FPS.
Enfoque	Enfoque automático
Megapíxeles	5 megapíxeles
Campo de Visión	90°
Compatibilidad	Raspberry
Consumo de energía	Bajo consumo de energía
Requisitos Mínimos	Plataforma Raspberry
Instalación	No requiere software para utilizarlo.

2.5.2. Selección del lenguaje de programación

Para la selección del lenguaje de programación de ha tomado en cuenta lenguajes de alto nivel en donde los más importantes son:

- C++
- Python

Los criterios más importantes para la selección del lenguaje de programación que se tomaron a consideración son:

- Software Libre
- Sintaxis
- Multiplataforma
- Compatibilidad con QR

Tabla 7

Criterios para la selección de lenguaje de programación

Criterio	Peso	Alternativa A C++		Alternativa B Python	
		Calificación	Ponderación	Calificación	Ponderación
Software Libre	30%	4	1.2	4	1.2
Multiplataforma	30%	4	1.2	4	1.2
Compatibilidad con QR	25%	2	0.5	3	0.75
Sintaxis	15%	2	0.3	3	0.45
Total	100%		3.2		3.6

De acuerdo con la Tabla 7, la opción recomendada para la aplicación es la alternativa B (Python), el cual se considera óptimo para este proyecto por su compatibilidad, así como su sintaxis.

2.6. Interprete humanoide

El Intérprete Humanoide cumple la función de asistente, traductor de alfabeto, números y palabras a lenguaje de señas ecuatoriana, siendo importante que sus brazos realicen los movimientos necesarios para la traducción y debe cumplir la función de robot didáctico, ya que

está destinado a un ambiente rodeado de niñas y niños con discapacidad auditiva, se comienza seleccionando el tipo de base para su desplazamiento.

2.6.1. Plataforma móvil

El Intérprete está dispuesto para niñas y niños con discapacidad auditiva con quienes interactuará de manera individual o grupal, de acuerdo con (Rangel Ortiz & Pinzón, 2019) al desarrollar un proyecto basado en el concepto de la Robótica Pedagógica, para ayudar a niños con necesidades especiales de aprendizaje, el cual estaba conformado por niños con diferentes discapacidades, entre ellas con pérdida auditiva. Los indicadores de aprendizaje definidos incluyen: Concentración o Enfoque en la Tarea, Seguir Instrucciones, Comprensión de Números, Destreza Motora y Lenguaje.

Para realizar los indicadores de aprendizaje incluidos en el proyecto, no necesariamente se debe tener un tipo de extremidades específicas como plataforma móvil. Se analiza tres alternativas para su desplazamiento:

- Extremidades inferiores (piernas)
- Plataforma móvil tipo oruga
- Plataforma móvil tipo cuadrón

La Tabla 8, indica la comparación y características de las alternativas para el desplazamiento.

Tabla 8.

Comparación de alternativas para plataforma móvil

		
Cinemática lenta	Cinemática rápida	Cinemática rápida
Inestabilidad a contactos directos al cuerpo	Estabilidad a contactos directos al cuerpo	Estabilidad a contactos directos al cuerpo
En superficies lisas no se desplaza correctamente	Se emplea en casi cualquier tipo de terreno, incluso en superficies con poca fricción	Para superficies con poca fricción se debe usar llantas especiales

a. Selección de la plataforma móvil

Analizando las principales características de estas tres alternativas de la Tabla 9 y tomando en cuenta que sus extremidades no son de un tipo específico se selecciona la que más llame la atención, y su ejecución en la mayor parte de terrenos, el más idóneo es el tipo oruga.

2.6.2. Descripción de la plataforma tipo oruga T300 Caterpillar



Figura 29. T300 Caterpillar

Fuente: (AliExpress, 2018)

- Tamaño del producto: aproximadamente 290x270x100mm (largo * ancho * alto)

- Peso: 1700g
- Material: aleación de aluminio
- Bajo la ayuda del motor, el chasis del tanque puede girar suavemente a la izquierda, derecha, circular, hacia adelante y hacia atrás, etc. (AliExpress, 2018)

a. Características del motor DC T300 Caterpillar

- Nombre: motor de engranaje de 25mm
- Velocidad de salida: $150 \pm 10\%$ rpm
- Par de parada: 9,5 N*m
- Velocidad nominal: $100 \pm 10\%$ rpm
- Par nominal: 3 N*m
- Corriente nominal: 1200mA (máx.)
- Ruido: 56dB
- Voltaje de funcionamiento: 9 V
- Longitud del eje exterior: 14,5mm. (AliExpress, 2018)

2.6.3. Módulo control de motores DC T300

Este módulo se encarga de controlar la posición y sentido de giro de los motores para realizar los movimientos del robot, se analizan tres alternativas de módulos de control de motores comerciales (Tabla 9).

- Módulo Shield con L293D
- Módulo L298N

Tabla 9.*Selección de Módulo control de motores*

		
Controla	- Motores DC - - Motor paso a paso	- Motores DC - Motores paso a paso bipolar
Costo	\$13	\$6
Dimensión	6,8 x 5,3 x 2 cm	4,3 x 2,39 x 4,3 cm
Controlador	L293D	L298N
Voltaje	5V	6V -12V
Corriente	1.2 A	2 A
PWM	Si	Si
Canales	4	2
Compatibilidad	Raspberry	Raspberry

a. Selección del módulo control de motores

Para seleccionar la mejor opción del módulo de control de motores se realiza una evaluación (Tabla 10) en base a los siguientes criterios:

- Canales de control
- Compatibilidad
- Voltaje
- Corriente
- Costo
- Dimensione

Tabla 10.

Evaluación de alternativas de la tarjeta de control de motores

Criterios	Peso	Alternativa A Módulo Shield		Alternativa B Módulo L298N	
		Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada
Canales	30%	3	0.9	5	1.5
Compatibilidad	20%	5	1	5	1
Voltaje	25%	3	0.75	4	1
Corriente	10%	3	0.3	4	0.4
Dimensiones	10%	3	0.3	3	0.3
Costo	5%	3	0.15	4	0.2
Total	100%		3.5		4.4

De la Tabla 10, la Alternativa B (Módulo L298N) es el componente idóneo, ya que el módulo controla dos motores, que es la cantidad de motores que tiene la plataforma T300 Caterpillar, con una corriente máxima de 2A, y de acuerdo a las características descritas en (AliExpress, 2018) el módulo L298N es el que mejor cumple para los requerimientos del motor.

2.6.4. Motor para el movimiento de la parte superior del Robot

Los movimientos que realiza el robot son similares al de las personas, por lo tanto, deben tener un control en el movimiento rotatorio.

Los motores cumplen la función de convertir la energía eléctrica en mecánica, provocando un movimiento rotatorio, que cause movimientos de desplazamiento en las articulaciones mecánicas del robot, se analizan tres alternativas de motores comerciales (Tabla 11).

- Motores DC
- Micro servo
- Motor paso a paso

Tabla 11.*Comparación de los motores*

			
Descripción	Convierte energía eléctrica en mecánica provocando movimiento rotatorio	Capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación	Convierte impulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos
Costo	\$2	\$6	\$8
Tamaño	20 x 15 cm	22,2 x 11,8 cm	35 x 15 cm
Voltaje	1,25 - 6V	3.0-7.2V	9 - 12V
Rotación	360 grados	180 grados	7,5 grados (paso)
Torque	bajo	1,8 Kg-cm	100 g / cm
Velocidad	6800 RPM	0,02 RPM a 4,8 V	48 pasos (vuelta)
Peso	34 gramos	9 gramos	61 gramos
Eje de Transmisión	2 mm (Φ)	2 mm (Φ)	3 mm (Φ)

a. Selección de motores

Para seleccionar la mejor opción del motor se realiza una evaluación (Tabla 12) en referencia a los siguientes criterios:

- Precisión
- Velocidad
- Torque
- Dimensión

- Peso
- Costo

Tabla 12.

Evaluación de alternativas de motores

Criterios	Peso	Alternativa A Motor DC		Alternativa B Micro servo Sg 90		Alternativa C Motor a pasos	
		Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada
Precisión	25%	2	0.5	5	1.25	5	1.25
Velocidad	15%	4	0.6	3	0.45	4	0.6
Torque	15%	2	0.3	5	0.75	3	0.45
Dimensión	15%	3	0.45	4	0.6	3	0.45
Peso	20%	4	0.8	5	1	2	0.4
Costo	10%	5	0.5	2	0.2	3	0.3
Total	100%		3.15		4,25		3.45

De la Tabla 12, la Alternativa B (Micro servo Sg 90) es el componente idóneo, por ser un motor que brinda precisión, alto torque, una dimensión relativamente pequeña, que es el componente idóneo para el robot interprete.

b. Servomotor Modificado



Figura 30. Servomotor MG995

Fuente: (MercadoLibre, 2019)

Los servomotores (figura 30) son dispositivos que se pueden ubicarse en cualquier posición dentro de su rango y mantenerse estable, lo que caracteriza a estos dispositivos son la fuerza, velocidad y baja inercia. (Murphy, McMullin, Egan, & Brosnan, 2015). Partes del robot como

el bíceps, hombro, etc, para realizar el movimiento necesario dependen de un tornillo de potencia, el cual su eje debe girar más de 180° para llegar a la posición indicada, el rango de movimiento de los servomotores es de 180° ; como indica (United States Patente n° 5,912,541, 2016) a los servomotores se les puede modificar para convertirlos en motores DC sin perder sus características (fuerza, velocidad y baja inercia), que son necesarios para el buen funcionamiento.

El servo modificado es el Servomotor TowerPro MG995, por las características que se describe a continuación (Tabla 13)

Tabla 13.

Características de servomotor TowerPro MG995

Torque	4.8V: 130.54 oz-in (9.40 kg-cm) 6.0V: 152.76 oz-in (11.00 kg-cm)
Velocidad	4.8V: 0.20 sec/60 6.0V: 0.16 sec/60
Peso	1.94 oz(55.0 g)
Dimensiones	40.7 X19.7X42.9 (mm)
Engrane	Metal

2.7. Módulo controlador de servomotores

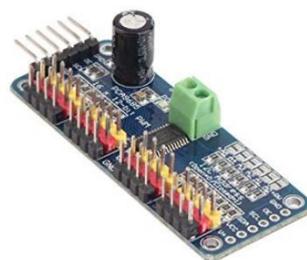


Figura 31. Módulo Pca 9685

Fuente: (ElectronicaStore, 2018)

El robot interprete consta de 18 servomotores, ya que la Raspberry no dispone con el número de salidas necesarias para el control, es necesario un módulo extra para realizar un buen control de los servomotores.

El seleccionado es el Módulo Controlador de servos PCA9685 (figura 31), sus características se describen a continuación:

- Voltaje de Operación: 5V
 - Interfaz: I2C
 - Bornera de conexión para voltaje de alimentación
 - Diseño de conector I2C para utilizar varios módulos con el mismo BUS
 - Frecuencia de PWM hasta de 1.6 KHz
 - Salida de 12 bits de resolución, dando una resolución de 4us para una frecuencia de 60Hz
 - Salidas configurables como Push-Pull, Open-Drain
 - Se pueden activar/desactivar todas las salidas rápidamente con el Pin Enable.
- (ElectronicaStore, 2018)

2.8. Componentes seleccionados

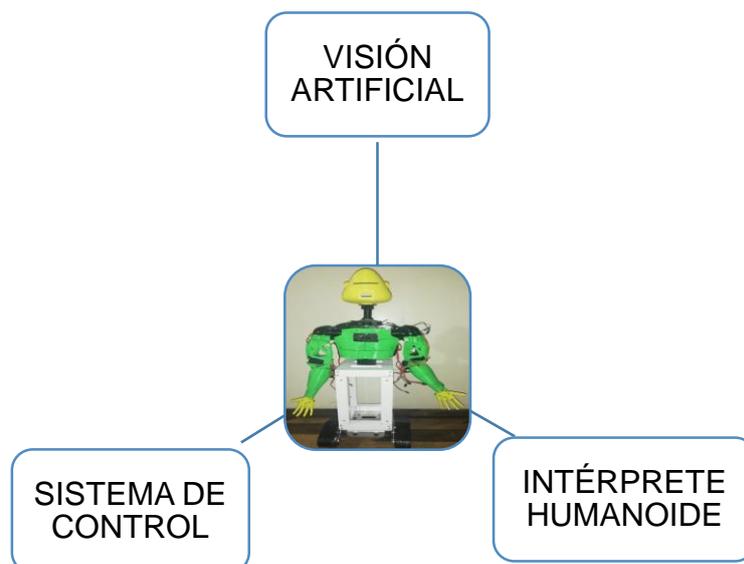
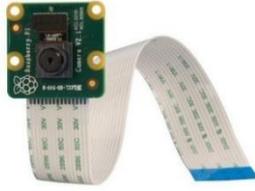


Figura 32. Componentes

Tabla 14.

Componentes que conforman el robot intérprete

Elemento	Descripción	Sistemas
 <p>Raspberry pi</p>	Tarjeta de control	SISTEMA DE CONTROL
 <p>Android Studio</p>	Aplicación móvil (SO)	
 <p>Bluetooth</p>	Transmisión de datos	
 <p>Raspberry Cam</p>	Cámara	VISIÓN ARTIFICIAL
 <p>Python</p>	Lenguaje de programación	ROBOT INTÉRPRETE
 <p>T300 Caterpillar</p>	Plataforma móvil	
 <p>Motor DC T300 Caterpillar</p>	Motor de la plataforma móvil	

CONTINÚA



Elemento	Descripción	Sistemas
 <p>Módulo L298N</p>	<p>Módulo control de motores</p>	
 <p>Micro servo</p>	<p><i>Motor para el movimiento de la parte superior del Robot</i></p>	
 <p>Servomotor TowerPro MG995 (MODIFICADO)</p>	<p>Servomotor modificado</p>	
 <p>Módulo Controlador de servos PCA9685</p>	<p>Modulo controlador de servos</p>	

CAPÍTULO III

CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

En este capítulo se describe el proceso de construcción del prototipo de robot humanoide llamado “Signsbot”, basado en el análisis realizado anteriormente en el capítulo 2.

En la figura 33 se observa el diagrama de funcionamiento del robot, en donde tarjetas didácticas con su respectivo código QR ayuda a la adquisición de datos, enviando la información hacia la tarjeta Raspberry Pi3, esta a su vez envía pulsos PWM para el movimiento de los servomotores, que se retroalimentan con los encoders, además se tiene una aplicación Android que realiza el mismo funcionamiento, pero adicionalmente permite ejecutar movimientos de desplazamiento del robot.

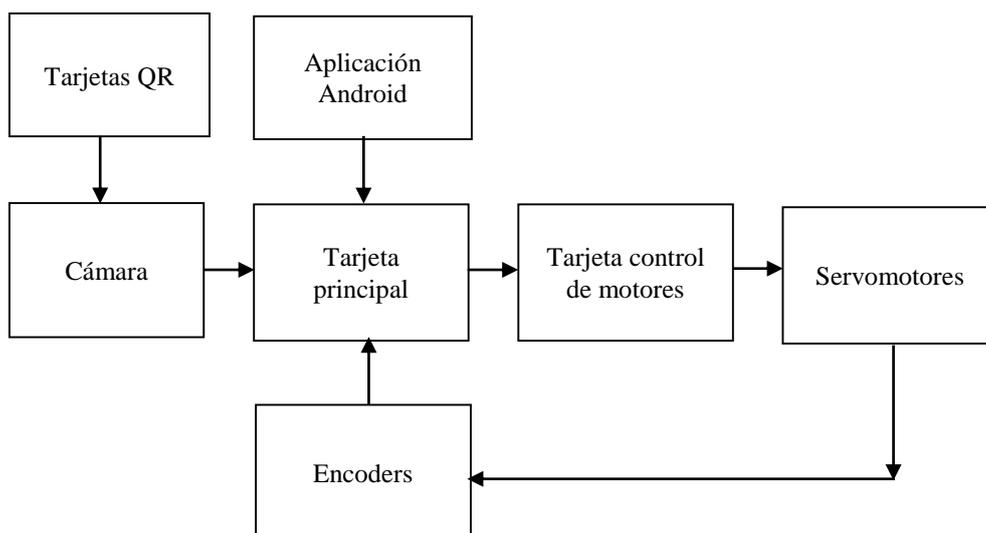


Figura 33. Funcionamiento del Robot

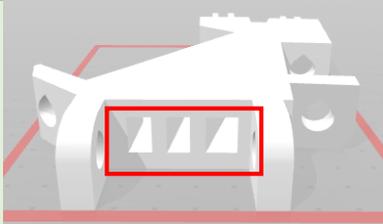
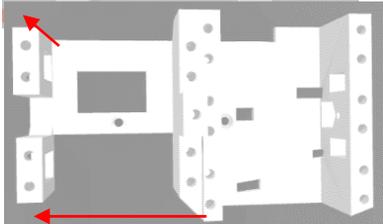
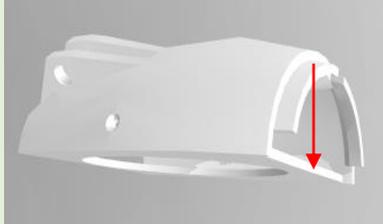
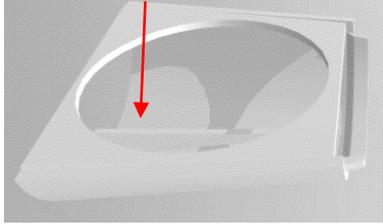
3.1. Construcción mecánica

3.1.1. Modificación de piezas del robot

El robot Signsbot se lo desarrolló basándose en el robot open source Inmoov desarrollado por el diseñador Gael Langevin, con algunas modificaciones adaptadas al proyecto, ya que tanto el tamaño, encoders y motores son diferentes, las piezas que se modificaron se detallan en la tabla 15, teniendo en cuenta que todas las piezas se redujo el tamaño a una escala de 0.57.

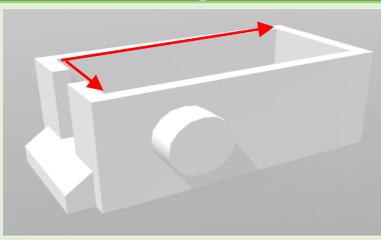
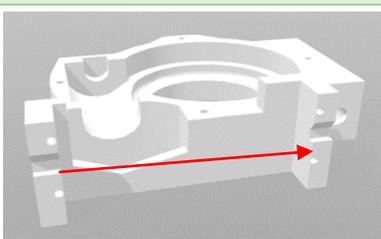
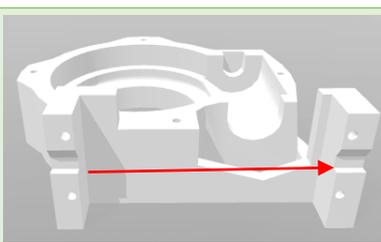
Tabla 15.

Piezas modificadas del robot Inmoov.

Nombre	Descripción	Imagen
Hand palm	Se modificó los orificios por donde se introducen los sensores de los dedos, ya que los originales eran demasiado pequeños los cuales dificultaban en gran medida el ensamblaje de la mano.	
RobServoBed	Es la cama donde reposan los servos se ubica en el antebrazo se modificó porque está diseñada para los servomotores TowerPro MG995, pero para el proyecto se utilizó TowerPro SG90, se modificó la altura, y el largo.	
Robpart4	Es la cubierta del antebrazo, se modificó la altura ya que los motores TowerPro MG995 a una escala 0.57 son menos altos que los TowerPro SG90.	
Robpart3	Es la segunda parte de la cubierta del antebrazo, igual que Robpart4 se modificó la altura porque con el diseño original escalado 0.57 rozaba con el movimiento de los motores.	

CONTINÚA



Nombre	Descripción	Imagen
ServoHoster	Es la sujeción del motor que permite el movimiento del hombro, se modificó tanto el largo como el ancho del orificio de entrada del motor.	
Pivcenter	Esta pieza de sujeción permite la rotación del antebrazo, se modificó el largo de la abertura de la pieza, para que pueda entrar el motor de una mejor manera.	
Rotcenter	Esta pieza de sujeción permite la rotación del brazo Al igual que la pieza anterior se modificó la abertura de la pieza para una mejor sujeción del motor	

3.1.2. Impresión de piezas en 3D

Para la realización del proyecto se utilizó la impresión 3D que es el procedimiento óptimo del mismo, el cual se detalla a en la tabla 16.

Tabla 16.

Parámetros de impresión de las piezas

Número de piezas	194
Material	PLA
Tiempo de impresión	191.4 horas
Peso	1469 gramos
Porcentaje de relleno	60%
Capa de impresión	0.25mm

3.1.3. Ensamblaje del Robot

Para la realización del ensamblaje del robot, se dividió en diferentes partes para facilitar el

ensamble final, primero se realizó el ensamble de las manos, muñecas, antebrazos, bíceps, hombro, torso, espalda y al por último la cabeza, posteriormente se procedió a la construcción de una estructura donde descanse el torso, y a su vez en la plataforma de la oruga,

a. Ensamblaje de manos y antebrazo

Una vez impreso y limado todos los elementos de la mano se procede a unir con ayuda de pegamento instantáneo los dedos, se utiliza alfileres a manera de pasadores para poder unir cada uno de los dedos como se observa en la figura 34.

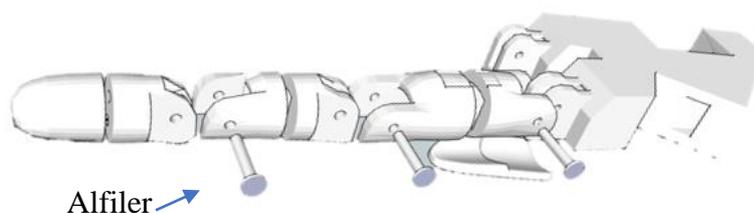
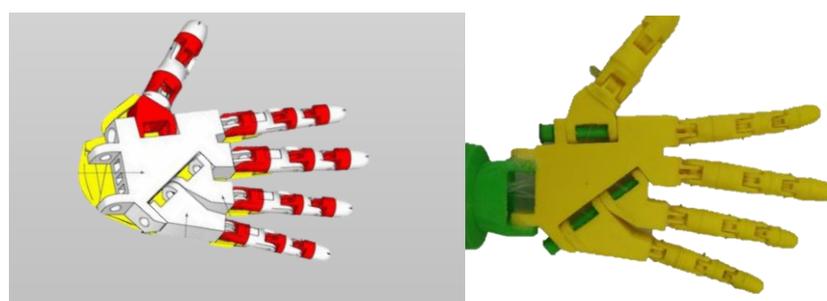


Figura 34. Ensamble explosionado de un dedo

De la misma manera se procede a acoplar todos los dedos en la palma de la mano, posteriormente se pasa el hilo nylon para unir con la palma de la mano como se indica en la figura 35a, en la figura 35b se observa la mano ya terminada.



a) Ensamble de la mano

b) Mano terminada

Figura 35. Mano

El ensamble del antebrazo se detalla en la figura 36, en donde se observa las etapas del ensamble, el lugar donde van ubicados los motores que permiten el movimiento de los dedos, los separadores de nylon que permiten que no se enreden al realizar un movimiento, y el lugar donde van los tensores de nylon.

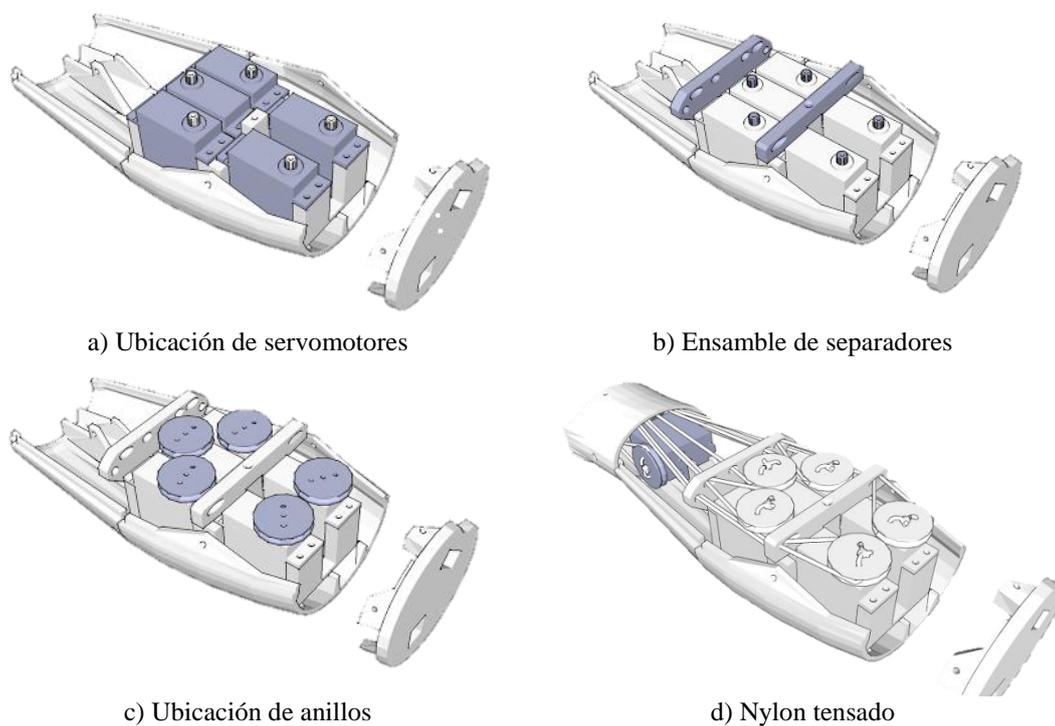
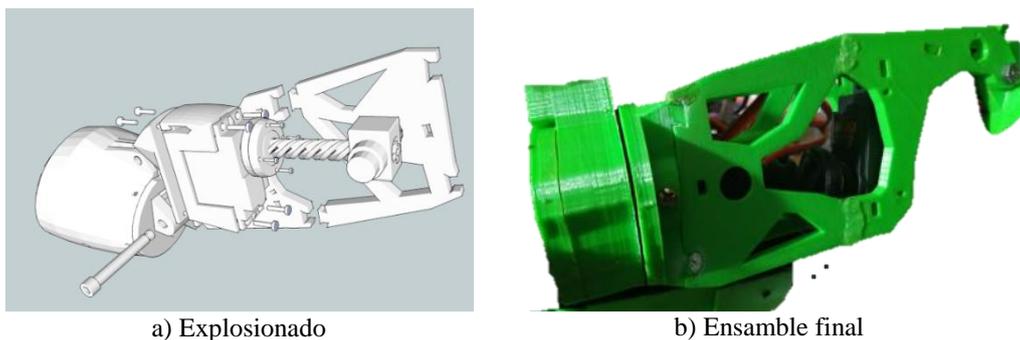


Figura 36. Ensamble de antebrazo

b. Ensamblaje del bíceps

En el bíceps se encuentran dos motores de los cuales, uno permite encoger y estirar el antebrazo, y el otro permite girar el brazo en la figura 37 se observa el ensamble del bíceps, para el control de movimiento del bíceps se utilizó los encoders de los servomotores, ubicados en lugares estratégicos que permitan el correcto movimiento del brazo.



a) Explosionado
Figura 37. Ensamble del bícep

b) Ensamble final

c. Ensamblaje del hombro

En el hombro existen dos servomotores los cuales permiten levantar el brazo de manera lateral y frontal, al igual que el bícep, los movimientos se controlan mediante los encoder de los servomotores, la figura 38 muestra el ensamble final del hombro.



a) Explosionado

Figura 38. Ensamble del hombro

b) Ensamble

d. Ensamble del torso

En el torso van ubicados todas las piezas ensambladas anteriormente, se debe tener una particular atención porque es el eje central y soporta todo el peso, además es donde están las tarjetas de control, se puede observar el ensamble en la figura 39.

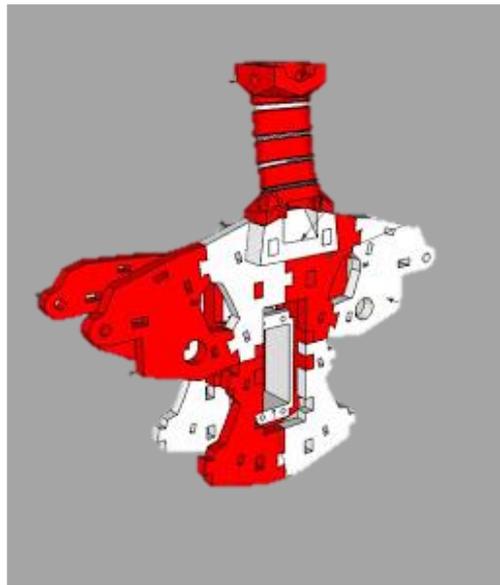


Figura 39. Ensamble del torso

3.2. Construcción electrónica y de control

Para la construcción del sistema electrónico se toma como tarjeta central la Raspberry Pi, para el control de los servomotores se utiliza el módulo controlador de servos PCA9685, 8 servomotores mg995 y 12 servomotores sg90, el proceso se detalla a continuación.

Se tiene dos fuentes de poder, para el sistema de control, es decir para la Raspberry Pi se tiene una Power Bank de 20A 5v, y para los servomotores, se tiene una batería seca de 12A 6V.

3.2.1. Partes de la programación

La programación se realizó en Python en la interfaz gráfica QT designer 5, siguiendo una serie de pasos explicados a continuación.

a. Interfaz gráfica

La interfaz gráfica es el apartado principal del proyecto se muestra en la figura 40, permite a los usuarios interactuar de forma sencilla con el programa, además que van a controlar las poses de este a través de un editor integrado mostrado en la figura 41. La interfaz gráfica está desarrollada en el potente framework de QT que permite dar gran flexibilidad al código de Python a la hora de interactuar con los periféricos del proyecto. Específicamente se usan los widgets QMainWindow para la creación de la Interfaz, además se usan los signals y slots para obtener los datos de los botones y ejecutar acciones en ellos como por ejemplo la obtención de video mediante la cámara conectada a la Raspberry Pi. Para guardar los datos, se ha considerado usar el formato estándar de intercambio de información JSON, este tipo de datos es ampliamente usado por las tecnologías web, pero para este proyecto sirve para almacenar en un archivo de texto con extensión. json los datos de los ángulos de los servomotores y los asocia con una llave(key) para que luego ésta se identifique con otro archivo json que contiene las acciones que debe hacer de acuerdo a cada detección de código QR.



Figura 40. Ventana principal del proyecto

Para poder obtener una nueva palabra en lenguaje de señas, se creó una ventana que se puede observar en la figura 41, en donde se puede agregar de una manera intuitiva mediante sliders una nueva palabra a la base de datos o si se desea, eliminar una guardada con anterioridad, se puede guardar hasta 3 posiciones que luego se ejecutarán en orden en el programa principal llamado main, es decir el movimiento 1, seguido del 2 y del movimiento 3 con lo que es posible el realizar señas que no sean fijas.

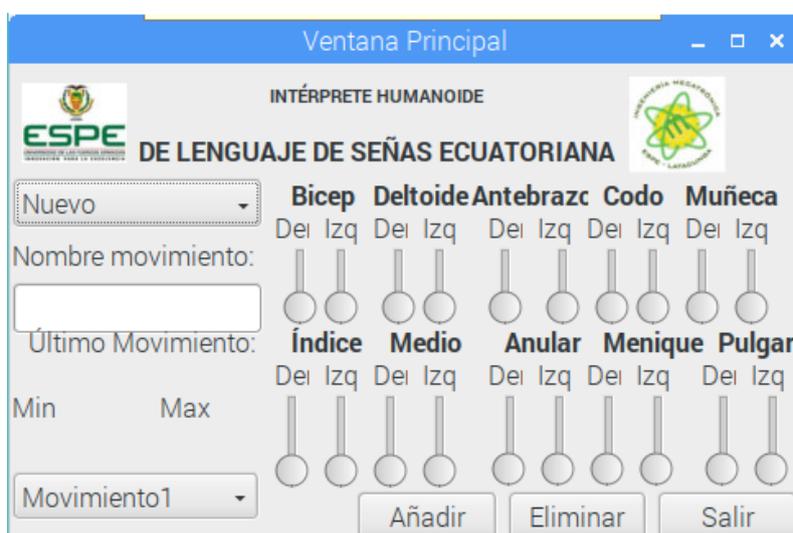


Figura 41. Ventana de configuración de los ángulos de los Servos

b. Comunicación I2C:

Es un tipo de comunicación que facilita la integración de múltiples sensores a través del uso de dos cables para comunicación, cada dispositivo se encuentra identificado bajo un identificador hexadecimal, en este caso los dos módulos PCA9685, están identificados como 0x40 para el lado izquierdo del torso del humanoide y como 0x44 para el lado derecho, en tanto la pantalla OLED I2C de 0.96" se encuentra en la dirección 0x3C por lo que el Raspberry Pi puede apuntar y modificar los registros que tengan las acciones correspondientes. Dentro de la

Ventana Principal del proyecto se añade una función para el control de los servos y la pantalla hará que se muestre en tiempo real las acciones de cada una.

c. Procesamiento digital de imágenes.

El programa principal contiene una función que usa las librerías de OpenCV y la librería zbar para python, la librería OpenCV es usada para la obtención y tratamiento de la imagen que se obtiene por la cámara, con esto se confirma que la detección sea óptima. La gran ventaja de la librería zbar es que tiene años de desarrollo, es robusta y permite la detección rápida y a cierto ángulo de códigos QR en tiempo real, por eso la importancia de su uso, acepta fácilmente las matrices de OpenCV por lo que no es problema su integración entre las dos librerías.

d. Control Display OLED

Para el control de la Pantalla OLED, se realizará a través de un Timer y se seguirá las letras a través del sistema de movimiento bucal que se muestra en la figura 42.

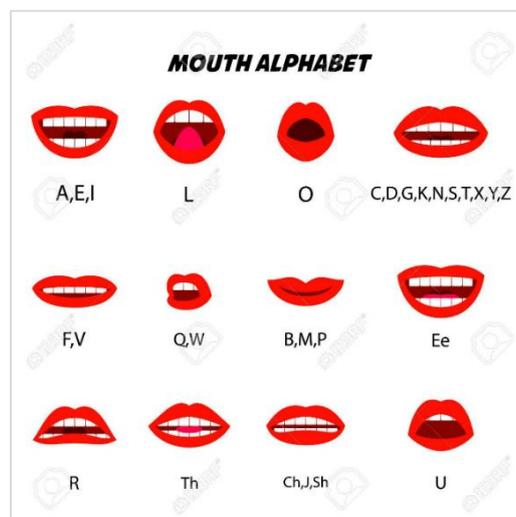


Figura 42. Movimiento de la boca en alfabeto

Fuente: (alphabet, 2019)

3.2.2. Requisitos de Software

Para poder trabajar de una manera adecuada se necesita tener instalado algunos componentes que se detallan a continuación:

- Librería opencv4 con soporte python
- Librería zbar (*pip3 install pyzbar* en Raspberry Pi)
- Librería wiringPi (Viene por defecto en el Raspberry Pi)
- Librería pyqt5 (Librería de interfaces gráficas) pip3 install pyqt5
- QtDesigner (Ayuda gráfica con la creación de interfaces)
- Librería adafruit-circuitpython-servokit (Control Módulo)
- Librería Adafruit_Python_SSD1306 (Control Pantalla OLED)

3.2.3. Conexiones y diagrama de conexión

a. Conexión General

En la figura 43 se puede observar los elementos y las conexiones electrónicas necesarias, las cuales constan de una pantalla LCD, una pantalla oled i2c, dos módulos PCA9685 para el control de los servomotores, el diagrama del circuito se lo encuentra en el Anexo B.

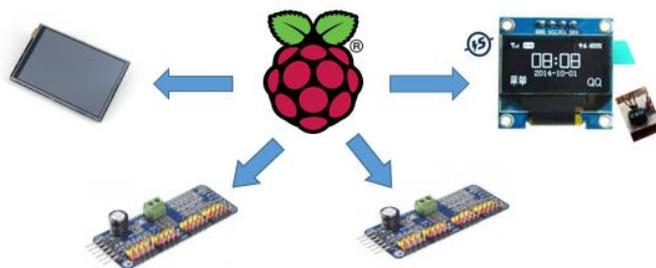


Figura 43. Componentes

b. Conexión de Servos

La conexión de los servomotores se divide en dos, un driver para la conexión de los servos TowerPro MG995 que son la parte del torso y brazos y otro driver de conexión para los servos de la mano, que corresponden a los servos de las manos TowerPro SG90, mismos que se observa en la tabla 17

Tabla 17.

Conexiones de los servos

Servos Torso(0x41)		Servos Manos(0x40)	
Ubicación	Identificación Servo	Ubicación	Identificación Servo
0	BicepIzq	0	MunecaIzq
1	DeltoideIzq	1	IndiceIzq
2	BicepDer	2	MedioIzq
3	DeltoideDer	3	AnularIzq
4	AntebrazoIzq	4	MeniqueIzq
5	AntebrazoDer	5	PulgarIzq
6	CodoIzq	6	IndiceDer
7	CodoDer	7	MedioDer
8		8	AnularDer
9		9	MeniqueDer
10		10	PulgarDer
11		11	MunecaDer

c. Límite de los servomotores

Cada uno de los servomotores tiene un límite de movimiento que facilita la programación y evita que existan colisiones mecánicas en el robot, las cuales se detallan a en la tabla 18:

Tabla 18.

Valores mínimo y máximo de los servomotores

Límites servomotores					
Nombre	Min	Max	Nombre	Min	Max
BicepIzq	0	60	BicepDer	0	60
Deltoide Izq	0	70	Deltoide Der	0	70
Antebrazo Izq	0	120	Antebrazo Izq	0	120

CONTINÚA 

CodoIzq	0	60	CodoDer	0	60
MunecaIzq	0	40	MunecaDer	0	40
IndiceIzq	10	70	IndiceDer	10	70
MedioIzq	10	70	MedioDer	10	70
AnularIzq	10	70	AnularDer	10	70
MeniqueIzq	10	70	MeniqueDer	10	70
PulgarIzq	10	70	PulgarDer	10	70

d. Conexión PCA9685

El módulo PCA965 tiene las siguientes conexiones que se pueden observar en el anexo B.

- GND -> GND Raspberry Pi
- SCL -> SCL Raspberry Pi (Pin 2 Físico)
- SCL -> SCL Raspberry Pi (Pin 3 Físico)
- VCC -> 3.3 V de Raspberry Pi

e. Conexión Pantalla OLED 128x64 SSD1306

- GND -> GND Raspberry Pi
- D0(SCLK) -> SCL Raspberry Pi (Pin 2 Físico)
- D1(MOSI) -> SDA Raspberry Pi (Pin 3 Físico)
- RES -> Pin 29 Físico
- DC -> GND
- CS -> GND
- VCC -> 3.3 V de Raspberry Pi

3.2.4. Configuración Bluetooth

Para la configuración del bluetooth en la tarjeta Raspberry pi, se debe seguir los siguientes pasos:

a. Instalación de librerías

- `sudo apt-get install libbluetooth-dev python-setuptools`
- `sudo pip3 install pybluez RPi.GPIO`

b. Configuración Dispositivo

- `sudo nano /etc/systemd/system/dbus-org.bluez.service`
- Buscar la línea `ExecStart=/usr/lib/bluetooth/bluetoothd` con `ExecStart=/usr/lib/bluetooth/bluetoothd -C`
- `sudo sdptool add SP`

c. Configuración permisos

- `sudo usermod -G bluetooth -a $USER`
- `sudo chgrp bluetooth /var/run/sdp`
- `sudo nano /etc/systemd/system/var-run-sdp.path`

3.2.5. Esquema del proyecto

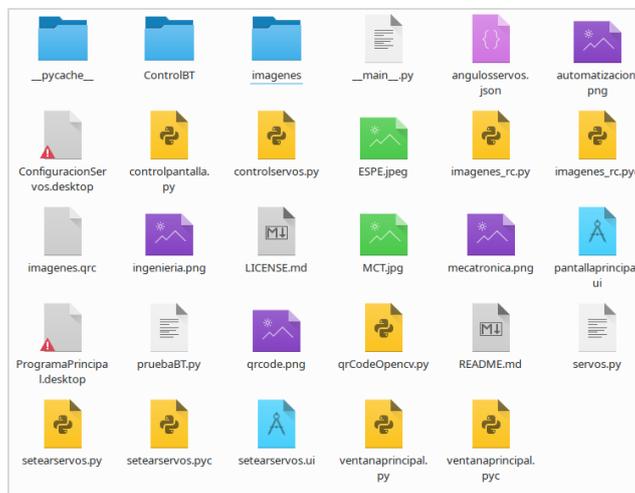


Figura 44. Archivos del proyecto

El proyecto cuenta con los siguientes archivos y carpetas se observa en la figura 44, se encuentra en la dirección `/home/pi/Documents/proyectointerpretehumanoide/` los cuales se describe a continuación:

a. `__main__.py`

Archivo principal del proyecto, contiene el programa que se ejecuta a través del acceso directo de escritorio. El flujo de trabajo se basa en el uso de un ciclo principal (que controla la interfaz) y tres ciclos simultáneos conocidos como `Threads`, uno de visión, otro de control de servos y otro de Control de la pantalla `OLED` como se ilustra en la figura 45. Cada servo en el código está compuesto por una clase, entonces se tiene tres clases en el `Servo`.

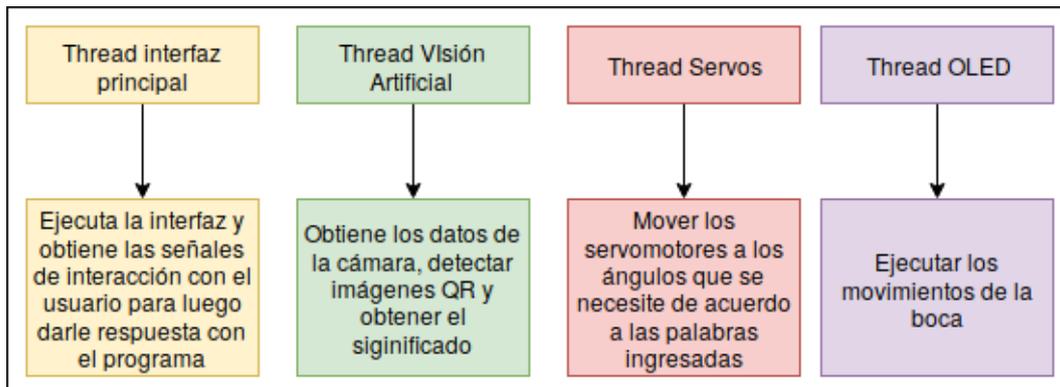


Figura 45. Ciclos de trabajo

Cada clase de los Threads secundarios además del constructor, tiene la función run() que en el caso del Thread de Visión se ejecuta mientras dure el proceso, los otros de Servos y OLED se ejecutan una vez cuando se generan las acciones correspondientes.

b. ventanaprincipal.ui

Es un formato de archivo donde se diseña la interfaz a través del programa Qt Designer 5 como se visualiza en la figura 46, aparte de incluir los botones de forma intuitiva, permite configurar las opciones debidas como por ejemplo el nombre de las variables y las acciones que se harán luego.

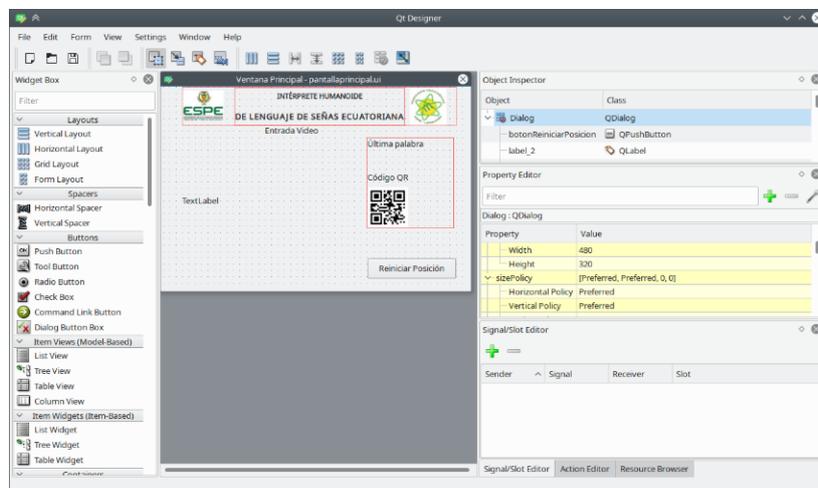


Figura 46. Ventana principal Qt designer

c. ventanaprincipal.py

Código autogenerated por la instrucción `pyuic5 ventanaprincipal.ui > ventanaprincipal.py` genera el código python desde la interfaz gráfica generada en Qt Designer 5. En el presente proyecto, el código se importará en el archivo de `__main__.py` con lo que se asegura que la parte gráfica cuando se cambie no afecte la implementación del código general.

d. servos.py

Es el segundo programa del presente proyecto, es una forma amigable y fácil para configurar las acciones que se realiza cuando detecta los códigos QR y permite ajustar los servos de forma individual y mostrar los valores guardados en forma conjunta. El programa como el anterior, contiene un ciclo principal que es el que se encarga de mostrar la interfaz y obtener el valor de los botones, los dos ciclos siguientes, son el ciclo mover individual, que mueve individualmente los servos y `accionServos`. El este programa guarda los datos de los servomotores como un archivo json una pequeña base de movimientos que sirve para que el archivo `__main__.py` pueda abrirlo de forma segura

e. setearservos.ui

Interfaz gráfica creada por el programa Qt Designer 5 se puede observar en la figura 47, en el programa se establecen los máximos y mínimos de los servos, así como los campos para ingresar el nombre de los movimientos

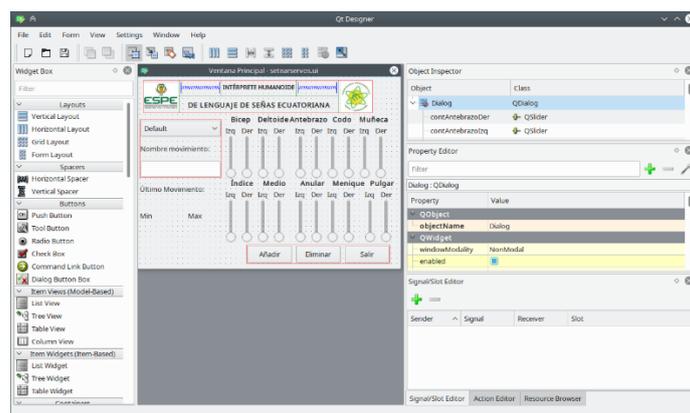


Figura 47. Ventana setear servos.ui

f. setearservos.py

Código autogenerated por la instrucción `pyuic5 setearservos.ui > setearservos.py` genera el código python desde la interfaz gráfica generada en Qt Designer 5. En el presente proyecto, el código se importará en el archivo de `servos.py` con lo que se asegura que la parte gráfica cuando se cambie no afecte la implementación del código general.

g. controlpantalla.py

Representa una clase que controla el funcionamiento de la pantalla OLED, está basado en la librería `Adafruit_Python_SSD1306`, muestra una pantalla de bienvenida y deletrea a través de imágenes las letras que son reconocidas por el código QR.

h. controlservos.py

Representa la clase que controla los servomotores, los puede mover individualmente o en grupos, de acuerdo a la función `moverIndividual()` y `moverGrupo()`, los valores de los servomotores se modifican a través de la lista que se encuentra en la figura 48:

```
self.valoresServos = {  
  'nombre': 'valoresServos',  
  'BicepIzq': self.servosTorso.servo[0],  
  'DeltoideIzq': self.servosTorso.servo[1],  
  'BicepDer': self.servosTorso.servo[2],  
  'DeltoideDer': self.servosTorso.servo[3],  
  'AntebrazoIzq': self.servosTorso.servo[4],  
  'AntebrazoDer': self.servosTorso.servo[5],  
  'CodoIzq': self.servosTorso.servo[6],  
  'CodoDer': self.servosTorso.servo[7],  
  'MunecaIzq': self.servosManos.servo[0],  
  'IndiceIzq': self.servosManos.servo[1],  
  'MedioIzq': self.servosManos.servo[2],  
  'AnularIzq': self.servosManos.servo[3],  
  'MeniqueIzq': self.servosManos.servo[4],  
  'PulgarIzq': self.servosManos.servo[5],  
  'IndiceDer': self.servosManos.servo[6],  
  'MedioDer': self.servosManos.servo[7],  
  'AnularDer': self.servosManos.servo[8],  
  'MeniqueDer': self.servosManos.servo[9],  
  'PulgarDer': self.servosManos.servo[10],  
  'MunecaDer': self.servosManos.servo[11]  
}
```

Figura 48. Lista de los valores de los servomotores.

3.3. Aplicación Móvil

Su función es de enviar datos mediante la comunicación Bluetooth, hacia el robot interprete, el cual realiza los movimientos necesarios para mostrar la seña correspondiente al carácter recibido.

3.3.1. Diseño de la Aplicación Móvil

Se desarrolló la aplicación en el software Android Studio el cual fue seleccionado en el capítulo 2, acorde a las necesidades del usuario.

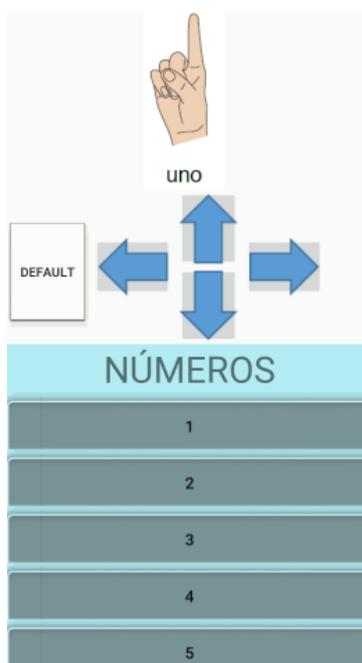


Figura 49. Sección de números de la aplicación

La aplicación cuenta diferentes secciones, como números, abecedario, días, etc, su función es el envío de carácter mediante la comunicación Bluetooth, cuenta con imágenes para cada uno de los caracteres ya sea número (figura 49), letras del abecedario, etc, esto ayudara a que el usuario pueda aprender - enseñar o verificar (seña mostrada por el robot) el lenguaje de señas ecuatoriana.

```

<Button
    android:id="@+id/button22"
    android:layout_width="97dp"
    android:layout_height="67dp"
    android:layout_marginStart="20dp"
    android:layout_marginLeft="20dp"
    android:layout_marginTop="16dp"
    android:background="@android:drawable/zoom_plate"
    android:text="3"
    android:onClick="myevento3"
    android:textColor="@color/list"
    android:textSize="40dp"
    app:layout_constraintStart_toEndOf="@+id/button21"
    app:layout_constraintTop_toTopOf="parent" />

```

Figura 50. Código fuente y parámetros para la creación de un botón

Android Studio cuenta con varias herramientas para su diseño, entre ellas se tiene la herramienta Button (figura 50), la cual permite la creación de un botón con parámetros de diseño establecidos por el usuario.

La parte del diseño (visualización) de la aplicación se realiza dentro de un layout, en la figura 48 se observa la parte del código y el resultado para la visualización.

```

@Override
protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
    super.onCreate(savedInstanceState);
    setContentView(R.layout.activity_main);
    tabLayout = (TabLayout) findViewById(R.id.pest);
    appBarLayout = (AppBarLayout) findViewById(R.id.ima);
    viewPager = (ViewPager) findViewById(R.id.view);
    imas = (ImageView) findViewById(R.id.imas);
    ViewAdapter adapter = new ViewAdapter(getSupportFragmentManager());
    //pestañas
    adapter.AddFragment(new ClassNumero(), Title: "NÚMERO");
    adapter.AddFragment(new ClassAbecedario(), Title: "ABECEDARIO");
    adapter.AddFragment(new ClassDias(), Title: "DÍAS");
    adapter.AddFragment(new ClassMeses(), Title: "MESES");
    adapter.AddFragment(new ClassPalabras(), Title: "PALABRAS");
    adapter.AddFragment(new ClassDesplazamiento(), Title: "DESPLAZAMIENTO");

    viewPager.setAdapter(adapter);
    tabLayout.setupWithViewPager(viewPager);
}

```

Figura 51. Activity principal

La función de una activity (figura 48) es el de dar órdenes de ejecución de las aplicaciones, dentro de esta activity están las funciones principales de la aplicación, ya que el usuario interactúa con ellas.

A medida que un usuario navega a través de, fuera de, y de regreso a la aplicación, las Activity pasan por diferentes estados en su ciclo de vida. La Activity.class proporciona una cantidad de devoluciones de llamada que permiten a la activity saber que un estado ha cambiado: que el sistema está creando, deteniendo o reanudando una actividad, o destruyendo el proceso en el que reside la activity. (Developers, 2019)

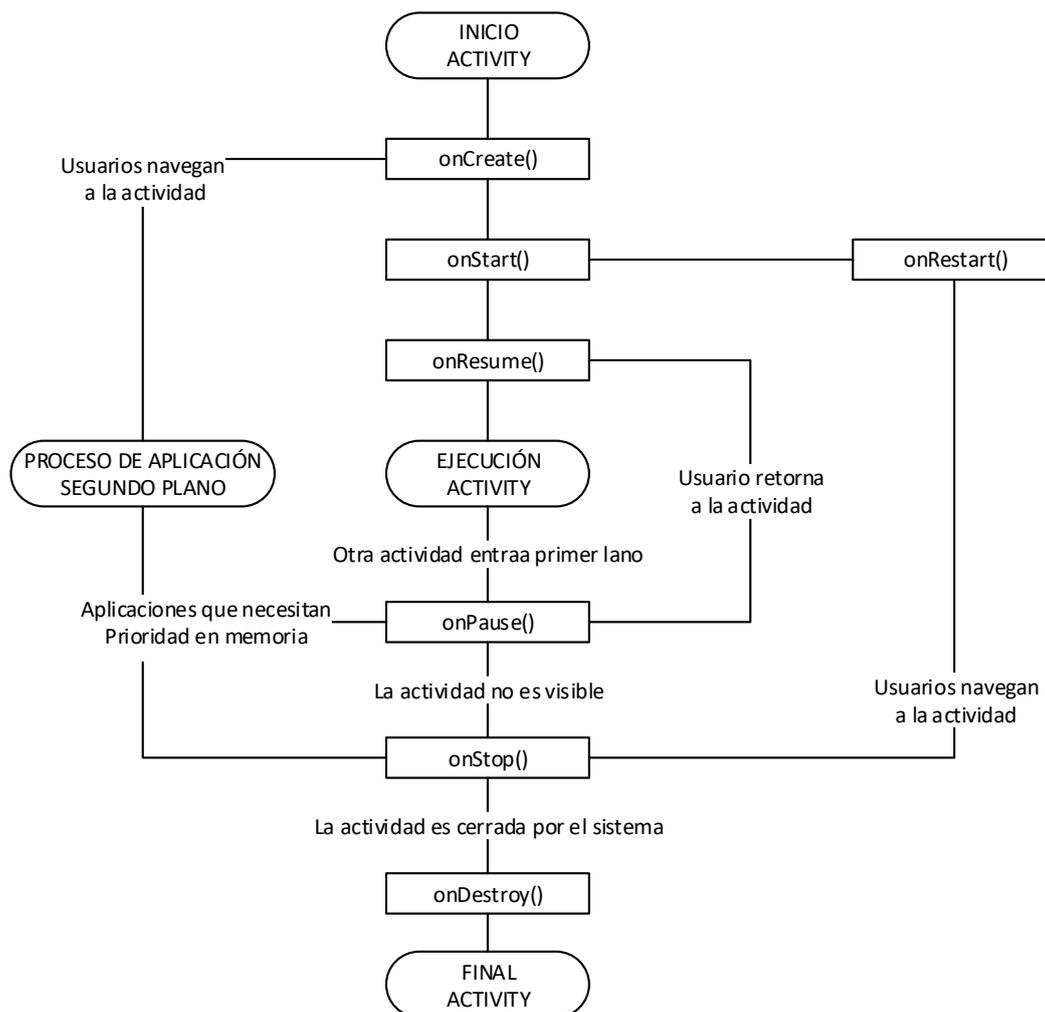


Figura 52. Ciclo de vida de una Activity

Fuente: (Developers, 2019)

3.4. Comunicación Bluetooth

La comunicación Bluetooth es de corto alcance que permite la comunicación inalámbrica de datos entre dispositivos, como un ordenador y un teléfono móvil que cuenta con la tecnología Bluetooth.

La tarjeta RaspberryPi cuenta con un módulo Bluetooth, la que se conecta mediante una aplicación móvil, previamente instalada en un teléfono móvil que cuenta con S.O Android.

3.4.1. Configuración del Bluetooth en la Aplicación móvil

a) Permisos para la ejecución agregadas al archivo Androidmanifest.xml (figura 53)

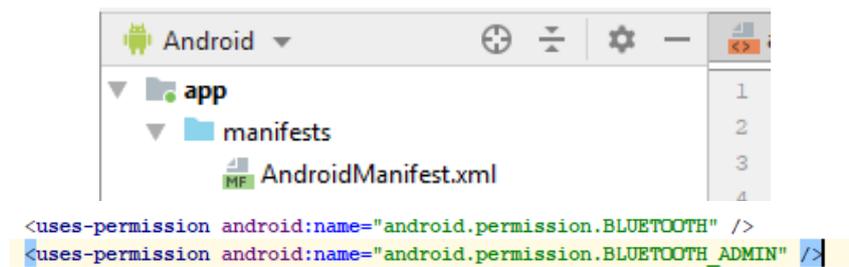


Figura 53. Permisos Bluetooth

b) Librerías necesarias en la Activity principal (figura 54)

```
import android.bluetooth.BluetoothAdapter;
import android.bluetooth.BluetoothDevice;
import android.content.Intent;
import android.util.Log;
import android.view.View;
import android.widget.AdapterView;
import android.widget.AdapterView.OnItemClickListener;
import android.widget.ArrayAdapter;
import android.widget.ListView;
import android.widget.TextView;
import android.widget.Toast;
```

Figura 54. Librerías

c) Selección de dispositivo (Figura 55)

ControlBT
Galaxy J2 Prime 3C:05:18:94:13:CD
HC-05 00:21:13:00:89:13
WX-88X 20:10:02:38:E3:A7
HC-06 98:D3:91:FD:56:55
raspberrypi B8:27:EB:74:DB:10
Galaxy J6 14:96:E5:3E:88:AB
DESKTOP-KN6GVBE 4C:BB:58:1C:BD:2A

Figura 55. Selección de dispositivo

d) Envió de datos (Figura 56)

```
nl.setOnClickListener(new View.OnClickListener() {  
    public void onClick(View v)  
    {  
        MyConexionBT.write( input: "abeja");  
    }  
});
```

Figura 56. Librerías

Nota:

- *El código completo de la aplicación móvil se lo puede apreciar en el Anexo C*

Se logró la construcción de un robot humanoide con 20 servomotores, los mismo que permiten hacer movimientos similares a los de un ser humano, capaces de realizar una gran cantidad de palabras del lenguaje de señas ecuatorianas, la obtención de datos se realiza mediante tarjetas didácticas las cuales, en una cara esta la letra o palabra y al reverso un código QR que al acercarse a la cámara ubicada en la cabeza del robot Signsbot se obtiene información de la letra o palabra, realizando en lenguaje de señas la palabra escrita en la tarjeta, cuenta con una base de datos de 139 palabras incluido los numero del 1 al 9 y el alfabeto, con un HMI que permite al usuario el ingreso de nuevas palabras ingresando secuencia de hasta tres movimientos, adicionalmente se puede controlar el desplazamiento y las señas del robot mediante una aplicación Android.

CAPÍTULO IV

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

En la etapa de pruebas se realiza la comprobación del funcionamiento de todo el sistema para verificar que el intérprete Signsbot, realice la seña de manera que pueda comprender el usuario, la comprobación de comunicación inalámbrica sea estable, la verificación de la hipótesis y el análisis de costo del desarrollo del proyecto.

4.1. Prueba de duración de batería

Se procederá a tomar el tiempo de la duración de la batería con el robot funcionando, se tomará el tiempo 5 veces

Tabla 19.

Pruebas de Autonomía

N°	Tiempo (minutos)	
	Power bank	Batería
1	75	130
2	78	140
3	80	135
4	78	145
5	80	140
Promedio	78.2	138

Correcto (+); incorrecto (-)

En la tabla 19 se analiza la duración de la batería por medio de los tiempos (minutos), se puede apreciar que la power bank tiene un correcto funcionamiento en promedio de 78,2 min

(1h:18min), y la batería una duración de 138 min (2h:18min), estos tiempos de duración se tomaron con el robot en funcionamiento normal, el funcionamiento normal se toma como base a la ejecución de una tarjeta por minuto, en promedio general.

4.2. Pruebas de Códigos QR y comunicación inalámbrica bluetooth

Se procederá a reconocer las tarjetas QR, de acuerdo al cálculo de la población:

$$n = \frac{N * \sigma^2 * Z^2}{e^2 * (N - 1) + \sigma^2 * Z^2}$$

Donde:

n=tamaño de la muestra

N=total de la población

$\sigma = 0,5$ Distribución de Gauss

Z=1,96

e=0,05

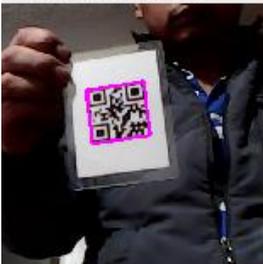
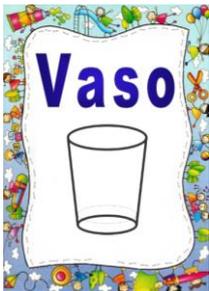
$$n = \frac{130 * 0,5^2 * 1,96^2}{0,05^2 * (130 - 1) + 0,5^2 * 1,96^2}$$

$$n = 8,47$$

Se tomará pruebas de 10 palabras con repeticiones a varias distancias.

Tabla 20.

Reconocimiento de la QR a diferentes distancias 0.2 hasta 1 (metro)

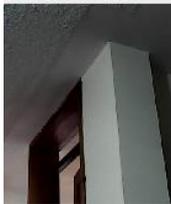
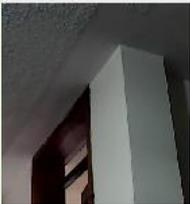
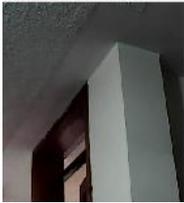
N°	GRÁFICA QR	GRÁFICAS TARJETAS	DISTANCIA (m)			
			0.2	0.5	0.7	1
1	<p>Entrada Video</p>  <p>Última palabra 7</p> <p>Código QR</p> 					
2	<p>Entrada Video</p>  <p>Última palabra 6</p> <p>Código QR</p> 					
3	<p>Entrada Video</p>  <p>Última palabra ch</p> <p>Código QR</p> 					
4	<p>Entrada Video</p>  <p>Última palabra quieto</p> <p>Código QR</p> 					
5	<p>Entrada Video</p>  <p>Última palabra vaso</p> <p>Código QR</p> 					

En la tabla 20 se aprecia las gráficas de la lectura de los códigos QR, en donde se realizó la prueba a distancias de 0,2 hasta 1 metro, como resultado indica que a distancia de 0,2 la lectura es muy buena y rápida, que, a las demás distancias, a la distancia de 1 metro no se realiza la lectura, se deduce que las tarjetas deben estar ubicadas en un rango de 0,2 a 0,7 metros, tomando en cuenta que a menor distancia la lectura es más rápida.

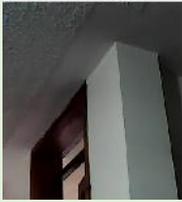
En la prueba N° 5, se puede apreciar una orientación notable a las demás pruebas, la lectura se realiza sin dificultad y satisfactoriamente.

Tabla 21.

Pruebas de comunicación bluetooth (BT)

N°	ENVIADA	RECIBIDA	DISTANCIA (metros)				
			2	4	8	10	11
1	8	Entrada Video  Última palabra BT: 8 Código QR 	+	+	+	+	-
2	A	Entrada Video  Última palabra BT: a Código QR 	+	+	+	+	-
3	B	Entrada Video  Última palabra BT: b Código QR 	+	+	+	+	-

CONTINÚA 

4	Hola		Última palabra BT: hola Código QR 	+ + + + -
5	Mamá		Última palabra BT: mamá Código QR 	+ + + + -

En la tabla 21 se aprecia las pruebas realizadas con la comunicación inalámbrica bluetooth, para el envío de los caracteres, las pruebas arrojaron un resultado positivo, para un rango de 1 hasta 10 metros.

En la tabla 22 se realiza pruebas con 10 palabras, números y letras, tanto para la lectura de los códigos QR, como para la comunicación bluetooth.

Tabla 22.

Lectura de las QR y Transmisión de datos BLUETOOTH (BT)

Palabra/ número/ letra	Prueba 1		Prueba 2		Prueba 3		Prueba 4		Prueba 5	
	BT	QR								
1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
8	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
9	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
A	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
B	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
L	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Mamá	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
Hola	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Latacunga	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
PROMEDIO	10/10	9/10	10/10	9/10	10/10	9/10	10/10	9/10	10/10	9/10

De la Tabla 22, se tomaron al azar entre números, letras y palabras, 10 caracteres, para realizar las pruebas; como se parecía en la tabla todos son satisfactorios dentro del rango establecido en el resultado de la tabla 21, con una excepción en la palabra “mamá”, para la lectura de los QR, se deduce que las palabras con caracteres especiales como en este caso la tilde, no la reconocen, pero en el caso de la transmisión vía BT es satisfactorio.

Para la solución a esto se dispone de la palabra “mama” (sin tilde) en el QR de la tarjeta, pero para la visualización de los usuarios se dispone de manera correcta “mamá” (con tilde), al igual para todas las demás tarjetas que presenten este problema.

Los resultados gráficos del análisis de la tabla 23, se pueden visualizarlo en el Anexo D.

Pruebas de Funcionamiento

4.3. Pruebas de funcionamiento con el intérprete humanoide Signsbot

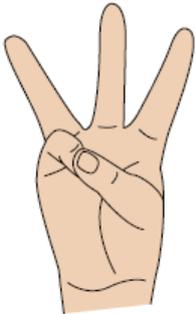
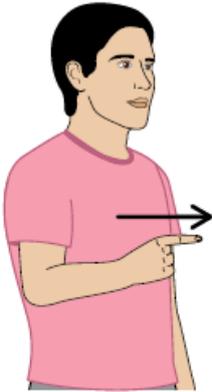
Tabla 23.

Porcentajes de aceptación de la población

	Calificación	Porcentaje
1	Regular	< 50%
2	Buena	50% - 75%
3	Muy buena	75% - 100%

Para las siguientes pruebas a realizar se tienen cuenta el nivel de aceptación de la población, el aprendizaje de las niñas y niños con discapacidad auditiva, para llevar a cabo estas pruebas se basará en la tabla 23, porcentajes de aceptación:

Tabla 24.*Lenguaje de señas Ecuatoriana interpretadas por Signsbot*

CARÁCTER	ESPERADA	OBTENIDA
1	 uno	
Y	 W	
TU		

De la tabla 24 se deduce que el robot cumple con los movimientos necesarios para realizar los caracteres seleccionados, después de estas pruebas ya se proceden hacer pruebas de aprendizaje – enseñanza, con adultos, niños y personas relacionadas con niñas y niños con discapacidad auditiva.

4.3.1. Pruebas de enseñanza

La prueba se realizó a un grupo de estudiantes, en la figura 57, se observa el entorno de clases habitual, al cual se incluyó el intérprete humanoide Signbot para obtener un análisis de enseñanza-aprendizaje.



Figura 57. Grupo de estudiantes

En la figura 57, se aprecia un grupo de niños, a los que se enseñó el funcionamiento, del robot Signbot, durante la prueba se realizó el número dos, la reacción de los niños fue la esperada, les llamo la atención, prestaron atención, fue de su aceptación, y como se denota en la figura 57, un niño realizo con éxito la seña del número dos.

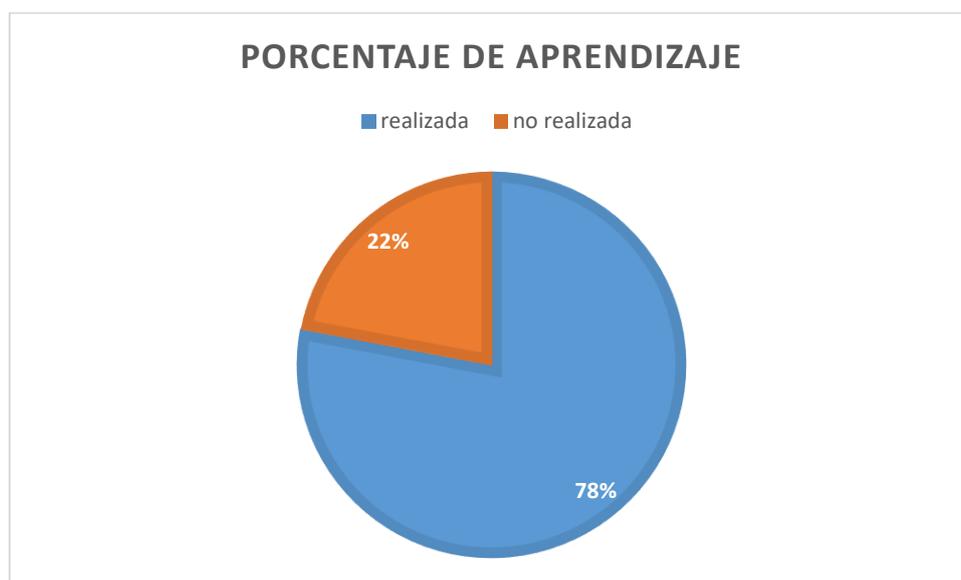
Para realizar las siguientes pruebas se toma como base 10 palabras, escogidas al azar del Anexo A. Base de datos de caracteres, con una repetición de 10 veces por palabra:

Palabras seleccionadas: 2,5,6,8, a,b,d,hola

Tabla 25.*Prueba de enseñanza por medio de Signsbot*

Carácter	Iteraciones										Realizada	No Realizada
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	10	0
5	+	+	+	-	+	-	+	-	+	+	7	3
6	-	-	+	+	-	+	+	+	+	+	7	3
8	-	+	+	-	+	+	-	+	+	+	7	3
A	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	10	0
B	+	+	+	-	-	+	-	+	+	+	7	3
D	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	9	1
Hola	-	-	+	+	+	+	-	+	+	+	7	3
W	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+	7	3
TU	+	-	-	+	+	+	+	-	+	+	7	3
Total											78	22

En la tabla 25 se aprecian los datos que se obtuvo de la prueba con niños con discapacidad auditiva.

**Figura 58.** Porcentaje de aprendizaje

La figura 58, muestra los datos de la tabla 25 en porcentaje de la población.

En la figura 59, se realizó pruebas de aceptación a la población adulta mayores de 18 años, se consideró a los estudiantes de la Universidad De Las Fuerzas Armadas.



Figura 59. Encuesta realizada a estudiantes

En la tabla 26 se aprecian los datos de la encuesta a adultos mayores de 18 años.

Tabla 26.

Datos de encuesta adultos mayores de 18 años

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Acepta	No acepta
1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	10	0
2	+	-	+	-	+	+	-	+	+	-	6	4
3	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	10	0
4	+	-	+	-	-	-	+	-	+	-	4	6
5	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	10	0
6	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	10	0
7	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	10	0
8	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	10	0
9	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	10	0
10	+	-	-	-	-	-	-	+	-	+	3	7
TOTAL											83	17

La figura 60, muestra los datos de la tabla 25 en porcentaje de la población.



Figura 60. Porcentaje de aceptación adultos

Los datos de la tabla 27 se obtuvo de la encuesta (Anexo E) realizada a niños menores de 12 años.

Tabla 27.

Datos de encuesta de niños menores de 12 años

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Acepta	No acepta
1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	10	0
2	-	-	-	+	+	-	-	-	+	-	3	7
3	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	10	0
4	+	+	+	+	+	-	+	-	+	-	7	3
5	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	10	0
6	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	10	0
7	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	10	0
8	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	10	0
9	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	10	0
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	1	9
TOTAL											81	19

La figura 60, muestra los datos de la tabla 27 en porcentaje de aceptación de la población.



Figura 61. Porcentaje de aceptación niños

Los datos de la tabla 28 se obtuvo de la encuesta (Anexo E) realizada a los niños menores de 12 años.

4.4. Validación de hipótesis

La hipótesis planteada en el proyecto es:

¿El uso de un intérprete humanoide con visión artificial ayudará a la enseñanza-aprendizaje del lenguaje de señas ecuatorianas a niñas y niños con discapacidad auditiva en el Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi?

- **Variables Independientes**

Intérprete humanoide con visión artificial

- **Variables Dependientes**

Enseñanza-aprendizaje del lenguaje de señas ecuatorianas a niñas y niños con discapacidad auditiva en el Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi

La validación de la hipótesis se realiza por medio del método del Chi-cuadrado:

$$h^2 = \sum \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e}$$

Donde:

f_o = frecuencia de valor observado

f_e = frecuencia de valor esperado

Para la validación de la hipótesis, se establece la hipótesis nula y la hipótesis de trabajo.

Hipótesis nula (H_0): El intérprete humanoide con visión artificial no ayudará a la

enseñanza-aprendizaje del lenguaje de señas ecuatorianas a niñas y niños con discapacidad auditiva en el Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi

Hipótesis de trabajo (H₁): El intérprete humanoide con visión artificial ayudará a la enseñanza-aprendizaje del lenguaje de señas ecuatorianas a niñas y niños con discapacidad auditiva en el Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi

Tabla 28.

Frecuencia observada (f_o)

	REALIZÓ	ACEPTACIÓN(N)	ACEPTACIÓN(AD)	TOTAL
SI	78	81	83	242
NO	22	19	17	58
TOTAL	100	100	100	300

Frecuencia esperada

$$f_e = \frac{100 * 242}{300}$$

Se realiza esta operación para cada valor de la tabla 26 y se obtiene la tabla 27

Tabla 29.

Frecuencia esperada (f_e)

	APRENDIÓ	ACEPTACIÓN(N)	ACEPTACIÓN(AD)
SI	80,67	80,67	80,67
NO	19,3	19,3	19,3

Chi-Cuadrado

Se obtiene la tabla del Chi-Cuadrado por medio de las tablas 26 y 27, y el uso de la siguiente fórmula:

$$h^2 = \sum \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e}$$

0,08837114	0,00134994	0,06729763	0,15701872
0,37772021	0,00466321	0,27409326	0,65647668
		TOTAL	0,8134954

$$h^2 = 0.813$$

Grados de libertad

$$\text{Grados de libertad} = (f-1)(c-1) = (2-1)(3-1) = 2$$

v	0,005	0,01	0,025	0,05	0,95	0,975	0,99	0,995
1	0,00003935	0,000157	0,000982	0,00393	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,010	0,020	0,051	0,103	5,991	7,378	9,210	10,597
3	0,072	0,115	0,216	0,352	7,815	9,348	11,345	12,838
4	0,207	0,297	0,484	0,711	9,488	11,143	13,277	14,860
5	0,412	0,554	0,831	1,145	11,070	12,832	15,086	16,750
6	0,676	0,872	1,237	1,635	12,592	14,449	16,812	18,548
7	0,989	1,239	1,690	2,167	14,067	16,013	18,475	20,278
8	1,344	1,647	2,180	2,733	15,507	17,535	20,090	21,955
9	1,735	2,088	2,700	3,325	16,919	19,023	21,666	23,589

Figura 62. Tabla Chi Cuadrado

Fuente: (Salazar Pinto & Del Castillo Galarza, 2018)

El nivel de confianza estimado para el proyecto es del 0.05% y con grado de libertad 2; con estos datos se observa en la figura 60, el valor de 0,103.

Valor calculado=0, 813

Valor teórico = 0,103

Valor calculado > valor teórico

De acuerdo a la comparación la hipótesis de trabajo se acepta y la hipótesis nula se rechaza, el proyecto con una confiabilidad del 95% es factible.

4.5. Análisis de costos

Tabla 30.

Costos impresión 3D

Detalle	Cantidad	Precio /uni	Total
Cuello	1	15	15
Pecho	1	20	20
Espalda	1	31	31
Torso	1	25,4	25,4
Hombros	2	45	90
Biceps	2	16	32
Brazos	2	40	80
Cabeza	1	36	36
Caja RaspberryPi	1	8,6	8,6
Total			338

La tabla 30 se detalla el costo de cada parte del robot Signsbot, que se utilizó para su construcción.

Tabla 31.

Costos de estructura

Detalle	Cantidad	Precio/uni	Total
Oruga	1	72,36	72,36
Cuerpo	1	25	25
Total			97,36

En la tabla 31 se detalla el precio de las partes que conforman la estructura del robot.

Tabla 32.*Costos de material eléctrico y electrónico*

Detalle	Cantidad	Precio/uni	Total
Raspberry Pi 3	1	67	67
Cámara Genius	1	20	20
Tarjeta sd	1	10	10
Microservos	12	5,5	66
Servos	8	12,5	100
Cargador (raspberry)	1	5,6	5,6
Cable HDMI	1	2,75	2,75
Tarjetas PCA 9685	2	9,80	19,6
Pantalla LCD	1	20	20
Pantalla OLED	1	17,5	17,5
Bateria seca	1	26	26
Power bank	1	24	24
cables		20	20
Cargador (BS)	1	30	30
Baquelita	1	1	1
Varios		36,15	36,15
Total			465

En la tabla 32 se enumera cada una de los materiales eléctricos y electrónicos que se utilizó para las instalaciones eléctricas, así como las tarjetas de control.

Tabla 33.*Costos de los complementos*

Detalle	Cantidad	Precio/uni	Total
Vestimenta	3	20	20
Impresiones tarjetas		4,9	4,9
Plásticos	2	2,6	5,2
Varios		30	30
Total			61,1

En la tabla 33 describen los complementos que se usaron, para el robot SignsBot.

En la tabla 34 se hace un sumatorio total de las tablas 30 - 33, las que están dispuestas con los precios del proyecto.

Tabla 34.

Costo general del proyecto

Detalle	Costo
Impresión 3D	338
Estructura	97,36
Material eléctrico y electrónico	465
Complementos	61,1
Total proyecto	961,46

En la tabla 34 se aprecia el costo total del proyecto que son 961,46 ctv (novecientos sesenta y uno, dólares americanos con 46/100), costo que es cubierto por los autores del proyecto.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- El robot humanoide Signsbot, es una gran ayuda en la enseñanza aprendizaje de niñas y niños, con discapacidad auditiva, ya que es una herramienta pedagógica poderosa porque posee tarjetas ilustrativas como material didáctico con esto no solo aprenden lenguaje de señas, sino que también funciona, al contrario, enseña las palabras a niños que solo pueden comunicarse mediante lenguaje de señas, aparte que ser siendo un juguete, se divierten aprendiendo.
- El robot Signsbot aparte de ayudar a la enseñanza, ayuda a la inclusión social, porque está dirigido no solo a niños con discapacidad sino a, los padres, hermanos, amigos para que puedan comunicarse y vivir en un país más inclusivo.
- El robot Signsbot, se asemeja a un humano, posee cinco dedos articulados, con control de movimiento en cada dedo, giro de las muñecas, movimiento en el brazo para rotación de este sobre su propio eje, la flexión y deflexión del antebrazo, movimiento de los hombros permitiendo girar el brazo perpendicular al bíceps; en total se compone de 20 servomotores, que permiten realizar una gran cantidad de movimientos semejantes a los de un ser humano, y realizar una gran cantidad de señas que contribuyan al aprendizaje, actualmente cuenta con una base de datos de 139 palabras.
- La adquisición de datos se los realiza mediante códigos QR los mismos que son una manera fácil y rápida de guardar información digital, estos códigos son leídos por la

cámara ubicada en la cabeza de Signbot, con un porcentaje del 95% de aciertos en la lectura de datos a 75cm, pero con un acierto del 100% a una distancia de 20cm.

- La robótica educativa es una manera de salir de la rutina, es una forma distinta e interesante para aprender, ya que el estudiante es el actor principal y puede interactuar independiente, sin la necesidad de un maestro, el proyecto Signbot, tuvo una gran aceptación tanto estética como de funcionamiento por parte de las personas encuestadas, lo cual indica que sería un éxito en caso de salir al mercado.
- El presente proyecto está dirigido a las niñas y niños con discapacidad auditiva, y usuarios que convivan o mantengan una relación, para su enseñanza-aprendizaje se realizó la validación de la hipótesis planteada, como resultado se obtiene para un porcentaje de confiabilidad del 95% que el proyecto es apto para enseñar, aprender, y como punto principal que el niño se incluya en la sociedad
- Se creó una aplicación móvil como medio didáctico entre el usuario y Signbot, ya que en la actualidad la mayoría de personas poseen un dispositivo Android, este les facilita la manipulación del robot, así como también permite controlar el desplazamiento del robot a manera de un juguete a control remoto
- El robot Signbot tiene una autonomía de 1.5 horas en la parte de control y 3.5 horas en la parte de potencia (motores), es un tiempo adecuado de hora clase, pero además tiene la posibilidad de trabajar conectado a la red eléctrica, para un mayor tiempo de manipulación.
- El HMI del robot cuenta con una pantalla de 3.5 in, en el cual se puede observar la imagen de la tarjeta para poder realizar el ingreso de datos de una manera más fácil, además cuenta con la opción que permite al usuario ingresar nuevas palabras que no se encuentran en la base de datos, realizando una secuencia de movimientos de hasta tres

posiciones.

5.2. Recomendaciones

- El robot Signbot, es autónomo y funciona con dos baterías, el cual se debe recargar de acuerdo a lo siguiente; la powerbank se debe recargar luego de 90 minutos, y la batería seca se debe recargar luego de 3.5 horas máximas de uso.
- El robot Signbot para usuarios menores de 12 años se recomienda que sea manipulado bajo supervisión de un adulto.
- Se recomienda al usuario ubicar la tarjeta dentro de un rango de 0,2 hasta 0,7 metros, para un óptimo funcionamiento.
- Se recomienda que la carrera Mecatrónica asigne a estudiantes para mejorar el prototipo Signbot, ya que ha tenido una gran aceptación en las personas; actualmente cuenta con una base de datos de 139 palabras, con un HMI que permite al usuario programar nuevas palabras, pero únicamente tres posiciones se podría aumentar el número de posiciones en la secuencia, así como también aumentar un motor en la muñeca para que pueda flexionar y así aumentar el vocabulario.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Meritxell, E. M., Ferrés Font, J., Cornellà Canals, P., & Codina Refgàs, D. (2012). Realidad aumentada y códigos QR en educación. En J. Hernández Ortega, M. Pennesi Fruscio, D. Sobrino López, & A. Vázquez Gutiérrez, *Tendencias emergentes en Educación con TIC* (págs. 135-156). Barcelona, España: Asociación Espiral, Educación y Tecnología. Recuperado el 10 de Febrero de 2019, de https://ciberespiral.org//tendencias/Tendencias_emergentes_en_educacin_con_TIC.pdf
- Alegre Gutiérrez, E., Pajares Martinsanz, G., & De la Escalera Hueso, A. (2016). *Conceptos y Métodos en Visión por computador*. España: Grupo de Visión del Comité Español de Automática (CEA). Recuperado el 30 de Enero de 2019, de <https://intranet.ceautomatica.es/sites/default/files/upload/8/files/ConceptosyMetodosenVxC.pdf>
- AliExpress. (2018). *aliexpress*. Obtenido de aliexpress: <https://es.aliexpress.com/store/product/Original-DOIT-T300-Aluminum-Alloy-Metal-Robot-Tank-Chassis-Track-Caterpillar-Car-Frame-Platform-Crawler-Pedrail>
- Alvarez, S. (04 de Febrero de 2006). *Tipos de Lenguaje de Programación*. Recuperado el 05 de Marzo de 2019, de DesarrolloWeb.com: <https://desarrolloweb.com/articulos/2358.php>
- Amaya-Zapata, S., Pulgarín-Velásquez, D., & Torres-Pardo, I. D. (Enero-Junio de 2016). Desarrollo e Implementación de un Sistema de Visión Artificial Basado en Lenguajes de Uso Libre para un Sistema Seleccionador de Productos de un Centro Integrado de Manufactura (CIM). *Lámpsakos*(15), 43-50. Recuperado el 25 de Enero de 2019, de

<https://pdfs.semanticscholar.org/2a7b/6b1e863a0ca3d27ef0d6c1581ec027552e89.pdf>

Arévalo, V. M., González, J., & Ambrosio, G. (2016). *La librería de visión artificial OpenCV*.

España: Universidad de Málaga. Recuperado el 25 de Febrero de 2019, de <http://mapir.isa.uma.es/varevalo/drafts/arevalo2004lva1.pdf>

Bellido Outeriño, F. J., De La Cruz Fernández, J. L., Torres Roldán, M., & Gistas Peyrona, J.

A. (Octubre de 2004). Comunicación inalámbrica con Bluetooth. *Innovación. Técnica Industrial Especial Electricidad y Electrónica*, 18-23. Recuperado el 15 de Marzo de 2019, de <http://www.tecnicaindustrial.es/tiadmin/numeros/15/06/a06.pdf>

Bigler, R. A., & Pandit Bigler, P. (2016). *United States Patente nº 5,912,541*. Recuperado el 30

de Abril de 2019, de <https://patentimages.storage.googleapis.com/41/a8/d5/0040c5205afbf0/US5912541.pdf>

Cobo, A. (2014). *Diseño y programación de bases de datos*. Visión Libros.

Developers. (2019). *Conoce Android Studio*. Recuperado el 05 de Abril de 2019, de Android

Studio: <https://developer.android.com/studio/intro/?hl=es-419>

EDUCACION, M. D. (2018). Obtenido de <https://educacion.gob.ec/planteles-educativos-fortaleceran-su-sentido-de-pertenencia-innovacion-y-derechos/>

El Universo. (13 de Abril de 2015). Teebot, un robot hecho en Ecuador para aprender. *El*

Universo. Recuperado el 10 de Marzo de 2019, de <https://www.eluniverso.com/noticias/2015/04/13/nota/4764351/robot-hecho-ecuador-aprender>

ElectronicaStore. (2018). *Módulo Controlador de servos PCA9685, posee hasta 16 canales*.

Recuperado el 30 de Abril de 2019, de Electronica Store: <https://electronicastore.net/producto/modulo-controlador-de-servos-pca9685-posee->

hasta-16-canales/

García Serrano, A. (2012). *Inteligencia Artificial. Fundamentos, práctica y aplicaciones*.

Madrid: RC Libros.

Iglesias, C., Martínez, J., & Taboada, J. (2018). Sistema de visión automatizada para inspección

de calidad de losas de pizarra. *Computers in Industry*, 99, 119-129.

doi:10.1016/j.compind.2018.03.030

Informática y Sistemas. (12 de Diciembre de 2016). *Visión Artificial*. Recuperado el 25 de

Enero de 2019, de Informática y Sistemas:

http://tecnologiainformaticasistemas.blogspot.com/2016/12/VisionArtificial_12.html

LeCun, Y. (2015 - 2016). *Les Enjeux de la Recherche en Intelligence Artificielle*. New York:

Chaire Informatique et Sciences Numériques. Recuperado el 10 de Enero de 2019, de

<https://inria.fr/medias/actualites/generales/documents-pdf/lecun-enjeux-ia>

Martínez Méndez, F. J. (2004). *Recuperación de información: Modelos, sistemas y evaluación*.

Murcia: Kiosko JMC. Recuperado el 15 de Enero de 2019, de

<http://eprints.rclis.org/16262/1/libro-ri.PDF>

MercadoLibre. (2019). Obtenido de <https://www.mercadolibre.com.ec/>

Murphy, J., McMullin, F., Egan, M., & Brosnan, M. (2015). *Servomotor control systems*.

United States: Kollmorgen Technologies Corp. Recuperado el 25 de Abril de 2019, de

<https://patents.google.com/patent/US4661756A/en>

Nilholm, C. (2006). Special education, inclusion and democracy. *European Journal of Special*

Needs Education, 21(4), 431-445.

Pastor, J. (03 de Julio de 2013). *Rapiro, un pequeño robot con Raspberry Pi que te sirve el café*.

Recuperado el 25 de Marzo de 2019, de Xataka: [https://www.xataka.com/robotica-e-](https://www.xataka.com/robotica-e-ia/rapiro-un-pequeno-robot-con-raspberry-pi-que-te-sirve-el-cafe)

[ia/rapiro-un-pequeno-robot-con-raspberry-pi-que-te-sirve-el-cafe](https://www.xataka.com/robotica-e-ia/rapiro-un-pequeno-robot-con-raspberry-pi-que-te-sirve-el-cafe)

- Penalva, J. (25 de Enero de 2016). *Probamos Zowi, un robot con cerebro Arduino que puede dar más de lo que aparenta*. Recuperado el 25 de Marzo de 2019, de Xataka: <https://www.xataka.com/analisis/probamos-zowi-un-robot-con-cerebro-arduino-que-puede-dar-mas-de-lo-que-aparenta>
- Pérez Grassi, A., & Puente León, F. (2006). *Visión Artificial. AIDIMA. Calidad y Servicios Avanzados*, 26-27. Recuperado el 5 de Febrero de 2019, de http://www.aidima.es/vamad/news_Files/70_1.pdf
- Prieto Blázquez, J. (2017). *Introducción a los sistemas de comunicación inalámbricos*. Universitat Oberta de Catalunya UOC. Recuperado el 20 de Marzo de 2019, de [https://www.exabyteinformatica.com/uoc/Informatica/Tecnologia_y_desarrollo_en_dispositivos_moviles/Tecnologia_y_desarrollo_en_dispositivos_moviles_\(Modulo_1\).pdf](https://www.exabyteinformatica.com/uoc/Informatica/Tecnologia_y_desarrollo_en_dispositivos_moviles/Tecnologia_y_desarrollo_en_dispositivos_moviles_(Modulo_1).pdf)
- Rangel Ortiz, J. C., & Pinzón, C. (2019). *Robótica pedagógica para la educación de niños con discapacidad*. Recuperado el 10 de Abril de 2019, de Revistas académicas UTP: <http://revistas.utp.ac.pa/index.php/el-tecnologico/article/view/255/html>
- Raspberry Pi Foundation. (2019). *Camera Module*. Recuperado el 30 de Marzo de 2019, de Raspberry Pi Foundation: <https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/camera/>
- Robotrónica. (2003). *NAO Los robots del futuro son ya una realidad*. Recuperado el 20 de Marzo de 2019, de AliveRobots.com: <https://aliverobots.com/nao/>
- Salazar Pinto, C., & Del Castillo Galarza, S. (2018). *Fundamentos Básicos de Estadística* (Primera ed.). Quito. Recuperado el 05 de Mayo de 2019, de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/13720/3/Fundamentos%20B%C3%A1sicos%20de%20Estad%C3%ADstica-Libro.pdf>

Sánchez Rodríguez, D. C., & Cano Castañeda, N. D. (2014). *Introducción a la programación*.

Chía- Cundinamarca: IE San Josemaria Escrivá De Balaguer. Recuperado el 28 de Febrero de 2019, de <http://files.sanjo2014.webnode.es/200000001-c34cac445e/INTRODUCCION%20A%20LA%20PROGRAMACION.pdf>

Sanmartín Piquer, F. J., & Sanz Kirbis, D. (2016). *Aplicación de la visión artificial en la*

realización audiovisual. España: Universitat Politècnica de València. Recuperado el 20 de Febrero de 2019, de [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/70614/PDF-SANZ%3BSanmartin%20-](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/70614/PDF-SANZ%3BSanmartin%20-%20Aplicaci%C3%B3n%20de%20la%20visi%C3%B3n%20artificial%20en%20la%20realizaci%C3%B3n%20audiovisual.CvCinema.pdf)

[%20Aplicaci%C3%B3n%20de%20la%20visi%C3%B3n%20artificial%20en%20la%20realizaci%C3%B3n%20audiovisual.CvCinema.pdf](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/70614/PDF-SANZ%3BSanmartin%20-%20Aplicaci%C3%B3n%20de%20la%20visi%C3%B3n%20artificial%20en%20la%20realizaci%C3%B3n%20audiovisual.CvCinema.pdf)

Schuntermann, M. (Junio de 2005). The implementation of the International Classification of

Functioning, Disability and Health in Germany: experiences and problems. *International Journal of Rehabilitation Research*, 28(2), 93-102.

Serrano Cinca, C., & Del Brío, B. M. (Enero-Junio de 1995). Fundamentos de las redes

neuronales artificiales: hardware y software. *Scire*, 1(1), 103-125. Recuperado el 20 de Enero de 2019, de <https://www.iberid.eu/ojs/index.php/scire/article/view/1036/1018>

Sordos Ecuador. (04 de Abril de 2017). *Cursos de lengua de señas ecuatoriana en Universidad*

Politécnica Salesiana. Recuperado el 05 de Enero de 2019, de Sordos Ecuador: <http://www.sordosecuador.com/2017/04/cursos-de-lengua-de-senas-ecuatoriana.html>

Tellado, F. (09 de Enero de 2012). *QR voice, los BIDI que te hablan*. Recuperado el 15 de

Febrero de 2019, de <https://tellado.es/qr-voice-los-bidi-que-te-hablan/>

Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2013). *Diseño y Desarrollo de Productos* (Quinta ed.). México

D.F.: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V. Recuperado el 25 de Marzo de 2019, de <https://cuadernosdelprofesor.files.wordpress.com/2018/01/librerc3ada->

disec3b1o-y-desarrollo-de-productos-5ed-karl-t-ulrich.pdf

ANEXOS



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores *Andrango Andrango, Cristian Fernando y Talabera Jácome, David Patricio.*

En la ciudad de Latacunga, a 23 días del mes de Julio del 2019

MSc. Constante Prócel, Patricia Nataly
DIRECTORA DEL PROYECTO

Ing. Darío Mendoza
DIRECTOR DE CARRERA



Dr. Rodrigo Vaca
SECRETARIO ACADEMICO